Thomas COLLIGNON
Ecole Nationale Supérieure Louis Lumière - Promotion 2001

LA PRISE DE VUES HAUTE DEFINITION NUMERIQUE

Mémoire de fin d'études section cinéma 1998-2001
dirigé par Francine Lévy et Vincent Muller

III. Partie pratique

Ma partie pratique est constituée d'un travail sur la texture de l'image générée par le caméscope Cinealta en utilisant ses caractéristiques propres comme un nouvel outil plastique ou comme s'il s'agissait d'une nouvelle émulsion lancée sur le marché. A l'instar de Jonathan Demme, j'ai panaché des prises de vues en 35mm avec des prises de vues en HDcam. Je me suis donc toujours attaché à travailler dans le sens d'un retour sur pellicule 35mm (shoot), en vue d'une exploitation dans ce format. La réalisation qui en est sortie met en valeur le traitement du signal et les caractéristiques « sensitométriques » de l'image générée par la HDcam par rapport au 35 mm : sa définition, sa granularité, son contraste, sa dynamique (hautes lumières et basses lumières), sa colorimétrie, mais aussi les particularités du système d'analyse du mouvement (progressif ou entrelacé) et des fréquences image ou cadences de prise de vues. J'ai par ailleurs fait l'expérience des contraintes de gestion de la profondeur de champ et du piqué des optiques actuellement adaptables sur un caméscope HD. Enfin, j'ai effectué des tests de définition sur une mire HD que j'ai conçue pour cette expérience.

1. Tests sur une mire de définition HD

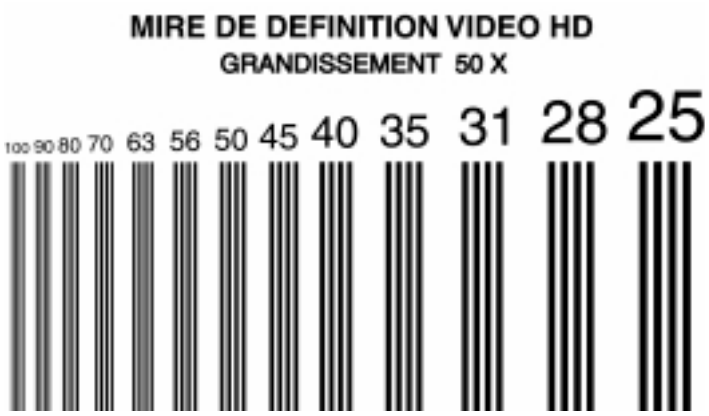
La démarche que j'ai entreprise lors de mes investigations est d'établir un moyen de mesurer la définition d'un objectif haute définition. Malgré l'apparente objectivité et la science à laquelle font appel les mesures de laboratoire, les tests de définition ou encore les essais caméra, il réside un grand trouble quant au protocole idéal d'évaluation de la résolution des optiques en général. Les tests de définition sur des optiques HD posent deux problèmes majeurs. D'une part, on ne peut apprécier des résultats en image à partir d'éléments de mire que lorsqu'on effectue un report sur film, car il est difficile de lire avec précision une mire sur un moniteur HD, même 24 pouces, et les projecteurs numériques actuels n'affichent pas les 1920 pixels de l'image HD mais seulement 1280 en horizontal. Il faut cependant préciser que, pour une production télévisée, on peut effectuer la lecture des essais sur un moniteur HD puisque la diffusion se fait elle-même sur un téléviseur HDTV. D'autre part, une mesure de MTF ne tient pas compte des aberrations chromatiques, ce qui limite la validité des tests. J'ai donc décidé de passer par une méthode courante en vidéo : la mesure de la bande passante sur oscilloscope à l'aide d'une mire de définition « multi-burst » graduée en MHz, conçue spécialement pour la HD, qui correspond sur le principe aux mires film en paires de lignes par millimètre. Je n'ai pu tester qu'un zoom Angénieux 11,5 x 5,3 HR (5,3-61 mm). Le signal obtenu sur un oscilloscope TDS 340 Tektronix m'a permis de déterminer la limite supérieure de la bande passante du système. L'expérience a prouvé que le pouvoir séparateur diminuait avec la distance focale, ce qui est plutôt gênant pour les plans larges. Effectivement, lors des essais effectués pendant la préparation de *Vidocq*, Pitof avait constaté que : « *Une prise de vues en mini DV en très gros plan était aussi bonne qu'un plan large en 35 mm ou en HDcam. La définition est proportionnelle à la taille de l'image, c'est-à-dire que sur un plan large il faut beaucoup de définition, sur un plan très serré on a moins besoin de définition.* »[1]. Ce dernier expliquait également, lors des conférences du Festival Cinealta, que l'image

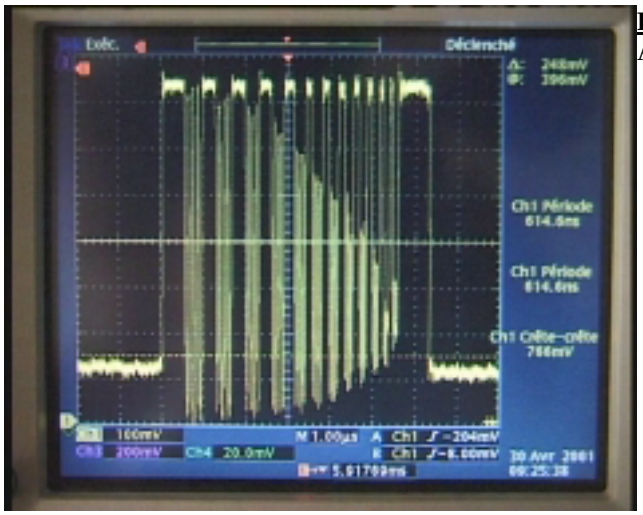
[1] Conférences du « *Festival CineAlta* » (Sony France), 11 et 12 octobre 2000.

générée par la HDW-F900 présente une très grande profondeur de champ. Sur *Vidocq*, Jean-Pierre Sauvère a cherché à « casser » cette trop grande profondeur, soit en ouvrant le diaphragme aux dépens du rendu de l'image, soit en tournant avec des focales plus longues. De plus, au moment du tournage de *Vidocq*, il n'existait pas encore d'optiques conçues pour la HD, celles de Panavision étant arrivées trop tard pour être utilisées en cohérence avec les images déjà tournées. Malgré la grande sensibilité de la caméra, la seule manière pour Jean-Pierre Sauvère d'obtenir un piqué suffisant avec les optiques vidéo standards était donc de travailler, pour les mêmes raisons qu'en film, avec un diaphragme assez fermé, de l'ordre de 5,6.

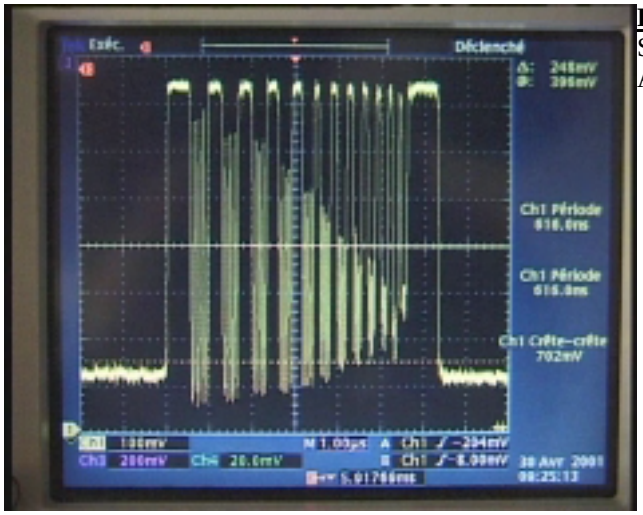
La « mire de définition vidéo HD » que j'ai conçu pour l'expérience utilise donc une unité de mesure en paire de lignes par millimètres ou, si l'on préfère, en MHz. Chaque paire de lignes est composée d'une ligne noire et d'une ligne blanche. Elle permet de mesurer, par visualisation sur un oscilloscope, la courbe de réponse en fréquence du système caméra + objectif. Les éléments de mire « multi-burst » doivent être préalablement disposés sur un fond gris neutre sur lequel figure une conformité de cadrage au format 16/9 et de dimensions 480 mm (1920/4) x 270 mm (1080/4). Ces sous-multiples de la résolution du capteur donnent pour les traits les plus fins une fréquence de 2 paires de lignes par millimètre. La fréquence horizontale limite est donc de 1920 traits. L'expérience a montré que le nombre de paires de lignes par millimètres affichées par le système caméra + objectif n'est pas identique au nombre de photosites du CCD de la HDW-F900. Cette différence s'explique par trois raisons :

- la loi d'échantillonnage.
- les défauts du groupe optique objectif + prisme séparateur.
- le filtrage électronique involontaire provoqué par une résonance des fréquences du CCD et de la trame filmée.

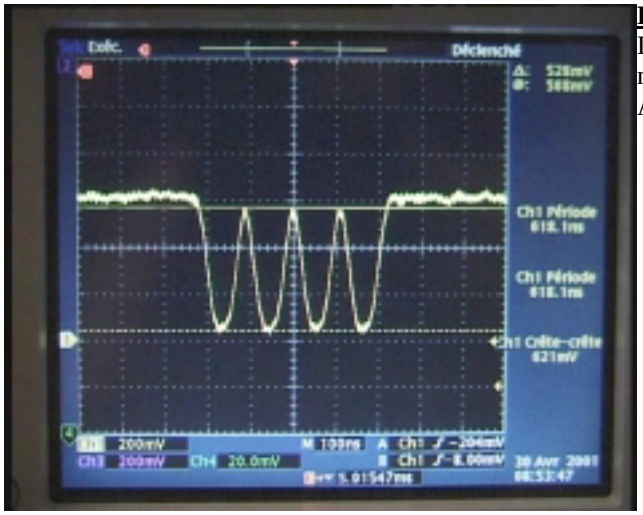




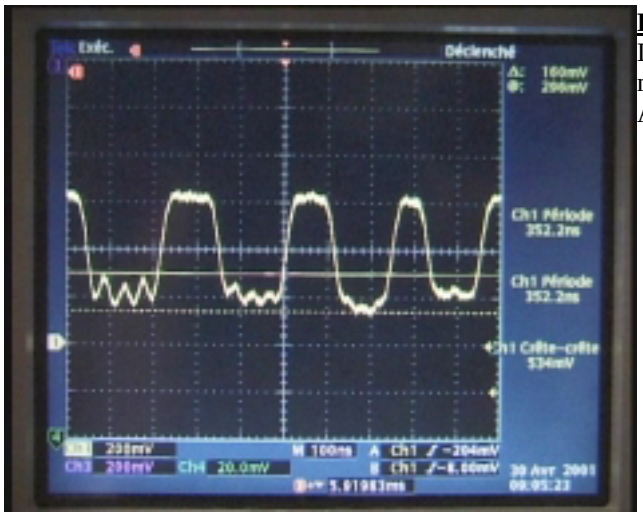
F : 5,3 mm à 100%
Avec correction de contour.



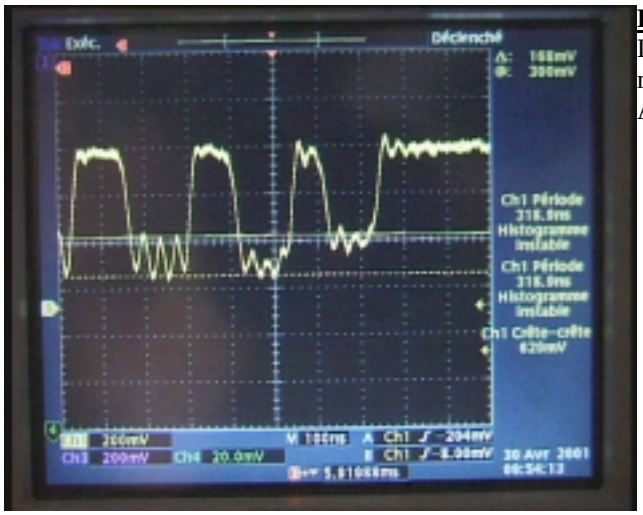
F : 5,3 mm à 100%
Sans correction de contour.
Atténuation constante jusqu'à 30% du signal.



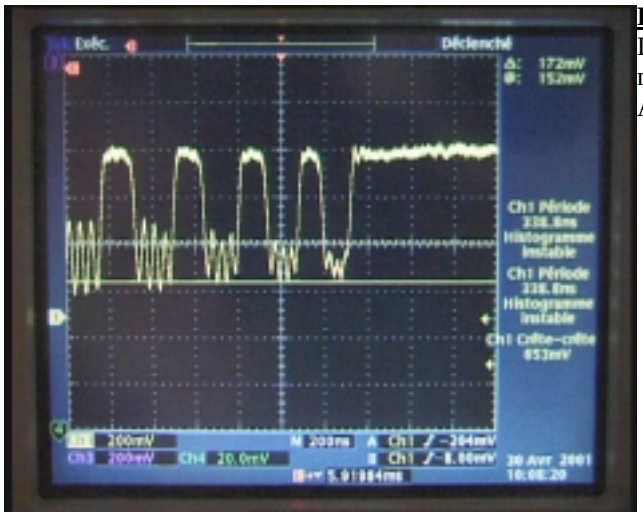
F : 5,3 mm à 100%
Détail du premier groupe de trait de l'élément de mire central.
Amplitude : 568 mV.



F : 5,3 mm à 30% (170 mV)
Détail du groupe de trait N° 70 de l'élément de mire central.
Amplitude : 160 mV.



F : 20 mm à 30% (170 mV)
Détail du groupe de trait N° 80 de l'élément de mire central.
Amplitude : 168 mV.



F : 61 mm à 30% (170 mV)
Détail du groupe de trait N° 90 de l'élément de mire central.
Amplitude : 172 mV.

Le problème essentiel de cette configuration de tests de définition est qu'elle ne prend pas en compte les aberrations chromatiques, tout comme elle ne permet pas sur un zoom de définir l'évolution de la profondeur de champ suivant la focale.

« *Les aberrations chromatiques sont le résultat d'une différence de comportement de l'optique ou du bloc optique en fonction de la longueur d'onde des rayons lumineux. Elles se manifestent sous la forme d'aberrations longitudinales qui provoquent une déformation sur l'une des trois couleurs ; la défocalisation se traduit par une perte de résolution. Les aberrations chromatiques prennent aussi la forme d'aberrations latérales qui produisent une déviation différente pour les trois primaires et donc une superposition imparfaite des trois images.* »[2]. Elles pourraient être facilement mesurées, en complément de ce test, à l'aide d'un banc optique traditionnel (vernier) et de filtres dichroïques rouge, vert et bleu. Je n'ai pas pu effectuer ce test avec des optiques HD, cependant, il est important de remarquer la différence de sensibilité fréquentielle entre le film et le capteur CCD. On sait que le film est très sensible au bleu et à l'ultraviolet. Inversement, le capteur CCD est extrêmement sensible à l'infrarouge et, dans les caméras, un filtre est placé devant celui-ci pour corriger la plus grande partie des aberrations chromatiques.

De plus, il est extrêmement délicat de déterminer avec précision le seuil exact de la fréquence de coupure, au-delà de laquelle le pouvoir séparateur de l'ensemble du système caméra + objectif n'est plus suffisant. Lorsqu'on effectue une mesure de la bande passante du signal en vidéo standard, on considère qu'à partir d'une lecture à 70% du signal, c'est-à-dire pour une atténuation de 3 dB, l'optique n'est plus suffisamment définie. En vidéo haute définition, j'ai pu constater que l'atténuation de la bande passante était particulièrement remarquable à 30% du signal, ce qui représente une différence considérable par rapport à la vidéo standard. Pour obtenir une mesure précise sur l'optique en elle-même, il faudrait pouvoir déterminer son cercle de confusion mais, cela entre dans le cadre d'une mesure de laboratoire et non d'essais caméra. L'avantage de cette mesure serait d'éviter le problème du chevauchement de deux pixels, qui crée un moirage et fausse la lecture à l'oscilloscope. Pour ce faire, il existe des bancs optiques conçus pour la haute définition, prenant en compte les aberrations géométriques et chromatiques ajoutées par le séparateur optique des caméras HD.

En dehors des résultas obtenus in situ avec ce zoom Angénieux, les tests que j'ai effectués ont pour but de décrire un protocole d'essais de définition pour de futurs assistants opérateurs travaillant en vidéo numérique haute définition. Je dégagerai donc de cette expérience un certain nombre de points utiles à une démarche efficace lors des essais :

- Un éclairement uniforme de la mire sur papier est essentiel à la cohérence des résultats. Ce paramètre est important car il permet de mettre en évidence le vignettage de l'optique. On peut également utiliser une mire imprimée sur un support transparent éclairé en transmission à l'aide d'un négatoscope ou d'une boîte à lumière, ou une lanterne projetant une mire de définition.
- Dans tous les cas, le flare provoqué par la mire influe sur son contraste et doit être pris en compte dans l'interprétation des résultats.
- Le contraste de l'objectif intervient fondamentalement sur son pouvoir séparateur. Il faut donc prendre en compte ce paramètre comme un choix technique ou esthétique.

[2] BERNARD Hervé, *L'image numérique et le cinéma - Un pont entre l'argentique et le numérique*, Eyrolles, 2000.

- La caméra doit être configurée de manière à ce que le traitement du signal soit le plus linéaire et le plus plat possible. Ainsi, on coupera les circuits de correction de contour, de détail, de gamma, de black gamma, de masking, le knee, le white clip, le flare, le matriçage et le gain. Malgré tout, il faut savoir que le contraste et la dynamique propres au signal numérique interviennent également sur le pouvoir séparateur de l'ensemble du système caméra + objectif.

2. Film de partie pratique

La deuxième étape de ma partie pratique se présente sous la forme d'un court-métrage qui réuni des contraintes et des situations de tournage permettant de tester :

- La sensibilité moyenne de la caméra.
- Le contraste.
- La dynamique de l'image : prise de vues en hautes lumières et basses lumières.
- Le traitement des hautes lumières par le knee.
- Les interventions au tournage sur la colorimétrie (choix d'un espace couleur standard ou pré-étalonnage par les matrices).
- La profondeur de champ.
- L'effet de contour et les filtres de diffusion.
- La comparaison et le mélange des supports HD et 35mm.
- La comparaison progressif / entrelacé.
- L'analyse du mouvement : les cadences de prise de vue et les fréquences image du shutter. Vitesses d'obturation provoquant l'effet de papillotement (1/48ème à 24 images/s), le motion blur (1/24ème) et le flou de bougé intermédiaire au 1/32ème. Problèmes de stroboscopie et cas particulier du panoramique filé.

Mon objectif au tournage a été de travailler sur la texture de l'image HD en testant les possibilités et les limites de la machine. Ce film a été réalisé conjointement avec Alexis Lambotte et Cyrille Valroff.

2.1. Scénario

Le Manuscrit de l'Astronome

1/ EXT. TOIT NUIT.

Une nuit, dans une ville nouvelle, pleine d'immeubles. Sous le ciel étoilé, sur le toit d'un bâtiment futuriste, une silhouette féline et souple court…

Elle arrive à une bouche d'aération, qu'elle démonte.

2/ INT. LABORATOIRE. NUIT.

Dans une chambre à peine éclairée par les rayons de la lune, une jeune femme aux allures de voleuse entre par un conduit d'aération. Elle enlève son bonnet et reprend son souffle. Elle tient dans sa main une torche avec laquelle elle balaye la sombre pièce. On découvre alors une chambre poussiéreuse mal rangée, remplie d'instruments d'astronomie et de feuilles volantes qui traînent ça et là. Une grande fenêtre surplombe un bureau vers lequel la jeune femme se dirige. Elle fouille frénétiquement dans les divers papiers et en trouve un qu'elle tient dans sa main. Son visage s'éclaire. A ce moment là, une lumière s'allume derrière une porte de la chambre, qui s'ouvre soudainement. La jeune femme a juste le temps de reposer la feuille et de se cacher dans une armoire. Elle en laisse les deux portes entrouvertes, pour regarder ce qui se passe dans la chambre.

Le personnage qui vient d'entrer est un astronome aux cheveux en bataille, qui traverse la pièce d'un pas rapide. Il allume une lampe suspendue en l'air et vient s'asseoir au bureau.

Il tient dans sa main un parchemin, qu'il pose sur le bureau frénétiquement. Il commence alors à écrire fébrilement des formules comportant des signes cabalistiques.

La jeune femme l'observe depuis son placard. Derrière l'astronome, sur un mur, une horloge commence alors soudainement à tourner de plus en plus vite.

Soudain, le savant écrit un résultat, qu'il souligne trois fois: « √(Hdcam) = 35mm ».

Il se lève alors, les yeux exorbités, et, fou de joie, se dirige vers un globe terrestre posé à coté de son bureau. Ses yeux sont brillants, avec ses mains il entoure le globe lumineux, fait mine de le cajoler, et commence à le faire tourner avec son doigt, de plus en plus vite. Il le lance alors un grand coup.

3/ INT. LABORATOIRE. JOUR.

A ce moment-là, le soleil se lève d'un seul coup et s'arrête quand le globe finit de tourner.

Le savant lève soudainement la tête vers la fenêtre, ébahi par le spectacle.

Un rayon de soleil vient alors frapper un miroir posé sur un bureau derrière lui, et est réfléchi sur une fiole posée au-dessus de l'armoire dans laquelle la jeune femme est cachée.

Le produit qu'elle contient se met alors en ébullition, la fiole se renverse et une lourde fumée blanche commence à s'écouler le long de l'armoire.

Un grand flash dans l'armoire fait se retourner le savant, qui s'approche alors de l'armoire…

Au moment où il va ouvrir la porte afin de voir ce qu'il y a à l'intérieur, à côté de lui, un petit papier sort d'une étrange machine faite de tuyaux et autres appareils électroniques.

Il s'accroupit pour le saisir dans ses mains: ce sont des photomatons de la jeune femme, tout étonnée.

2.2. Découpage technique

Le Manuscrit de l'Astronome

Durée totale : 200 sec, soit 3min 20 sec.

1) Extérieur Nuit / *LES TOITS* :

Plan 1 : Plan fixe, la nuit, sur un toit. Un personnage habillé tout en noir traverse le champ en marchant lentement et prudemment, de droite à gauche, cadré en pied, vu de profil. Il tient dans sa main une torche et balaye l'espace avec autour de lui.

Durée : 15 secondes.

Plan 2 : Toujours sur les toits, la caméra effectue un panoramique droite-gauche, suivant ainsi le personnage en noir, toujours cadré en pied et de profil, marchant le long d'une passerelle. Une fois qu'il est arrivé au bout, la caméra reste fixe, alors que le voleur arrive devant une bouche d'aération et qu'il commence à en démonter le panneau.

Durée : 20 secondes.

2) Intérieur Nuit / *LA CHAMBRE DE L'ASTRONOME*:

Plan 1 : Dans un conduit d'aération, face à une grille cadrée dans son ensemble. Deux mains s'emparent du panneau et l'enlèvent, dévoilant le voleur qui s'introduit alors dans le conduit. La caméra le précède alors en travelling arrière jusqu'à ce qu'il en sorte. Il est alors debout, cadré en plan poitrine, de face, dans une pièce sombre. Il s'avance, la caméra le précède toujours. Il s'arrête sous une lampe étrange, et là enlève son bonnet et laisse tomber sur ses épaules ses longs cheveux clairs : c'est une jeune femme !

Aidée de sa torche, elle procède à une fouille rapide du lieu, toujours cadrée de face, poitrine. La pièce est une poussiéreuse chambre d'astronome mal rangée. Le travelling cesse lorsque la jeune fille s'approche du bureau de l'astronome, face à une grande fenêtre et fouille dans les papiers qui le recouvrent. Un globe lumineux trône à côté du bureau. On voit la voleuse alors de profil, cadrée en plan américain. A l'arrière plan, on aperçoit dans la pénombre une porte gauche cadre, un placard métallique et une étrange machine à ses côtés au centre du cadre.

C'est alors qu'une lumière s'allume derrière la porte du fond : quelqu'un s'apprête à entrer dans la chambre ! La jeune fille a juste le temps de prendre la torche avec elle et de se cacher dans le placard métallique, alors que la porte s'ouvre et qu'un singulier personnage fait son apparition, coiffé en bataille et vêtu d'une chemise de laboratoire blanche : il est vu de trois-quarts face, gauche cadre. La caméra est restée fixe durant toute la fin de la séquence, et les deux personnages sont cadrés en pied à la fin du plan.

Durée : 40 secondes.

Plan 2 : Contrechamp sur l'astronome qui vient de passer la porte et qui se dirige vers son bureau, absorbé par le parchemin qu'il tient dans ses mains. Il est cadré de trois-quarts dos, droite cadre, en plan épaule. Il s'arrête dans son élan pour descendre une sorte de lustre suspendu et l'allumer, puis se dirige directement vers son bureau. La caméra le suit en travelling latéral, de profil, passant derrière un meuble sur lequel sont posés divers objets qui traversent ainsi le champ, en avant-plan. Enfin, l'astronome s'assoit à son bureau après avoir allumé une petite lampe. La caméra effectue alors un travelling avant vers lui pour le cadrer finalement en légère plongée, de trois-quarts dos, droite cadre.

Durée : 20 secondes.

Plan 3 : Plan subjectif, à l'épaule, de la jeune fille cachée derrière les deux portes entrouvertes de l'armoire, sur l'astronome à son bureau, écrivant des formules frénétiquement. Il est vu de profil, en pied. Les deux portes de l'armoire masquent les deux tiers de l'image. A la fin du plan, on aperçoit sur le mur du fond de la chambre une horloge qui tourne de plus en plus vite.

Durée : 10 secondes.

Plan 4 : L'astronome est vu de trois-quarts dos, en plan rapproché sur sa main gauche qui tient le parchemin sur lequel il écrit. La caméra effectue alors un travelling avant accompagné d'une élévation et d'un panoramique haut-bas, afin de découvrir en plongée la formule magique qu'il vient de trouver, en plan rapproché.

Durée : 5 secondes.

Plan 5 : La caméra est fixe, parallèle au sol, elle cadre l'astronome de profil, droite cadre, en plan américain, qui exulte de joie après avoir trouvé sa formule. Le globe lumineux est en avant-plan, et remplit tout l'espace gauche cadre. L'astronome tourne son visage vers lui, le point passe alors sur le globe. L'homme se lève et avance vers lui, courbé, un sentiment de puissance dans son regard. Il l'observe de très près, et le fait doucement tourner avec son index. Il le lance alors violemment.

Durée : 10 secondes.

3) Intérieur Nuit / *LE SOLEIL SE LEVE* :

Plan 1 : La jeune fille dans le placard sort de l'ombre et avance son visage près de la fente entre les deux portes, vue de profil en gros plan. La lumière augmente alors peu à peu, sur son visage émerveillé.

Durée : 5 secondes.

Plan 2 : La caméra est face à la fenêtre, fixe. Derrière les carreaux, le jour se lève très rapidement sur la ville.

Durée : 10 secondes.

Plan 3 : La chambre est cadrée en plan d'ensemble, en plongée totale. L'astronome est ébahi devant la fenêtre, les rayons du soleil balayent la chambre. Ils s'arrêtent lorsque le globe cesse de tourner.

Durée : 10 secondes.

Plan 4 : Gros plan sur un miroir posé sur une table derrière l'astronome : on voit la fenêtre dans son reflet, qui s'illumine peu à peu. Le rayon de soleil frappe alors dedans, et la caméra effectue un filé vers la droite.

Durée : 10 secondes.

Plan 5 : Gros plan sur une fiole posée au-dessus du placard dans lequel se cache la jeune fille. Le plan démarre par un petit panoramique très sec, gauche-droite. Le rayon de soleil qui vient de frapper le miroir est renvoyé sur la fiole, et son contenu se met alors à bouillir sous l'effet de la lumière. Le liquide déborde alors de son récipient et dégouline le long de l'armoire. La caméra le suit dans sa descente par un travelling haut-bas le long des portes du placard.

Durée : 10 secondes.

Plan 6 : La caméra cadre l'astronome en plan taille, vu de profil, gauche cadre. En arrière plan, le placard, l'étrange machine à côté et la fiole qui vient de déborder. La caméra est fixe. Soudain, un éclair jaillit entre les deux portes de l'armoire. L'astronome se tourne alors vers elle, et s'en approche.

Durée : 10 secondes.

Plan 7 : L'astronome est cadré de profil, droite cadre, en plongée assez forte, en plan américain. Alors qu'il va ouvrir les deux portes du placard, derrière lui sort un petit papier de la machine étrange : il se penche pour le prendre dans ses mains. La caméra reste fixe.

Durée : 15 secondes.

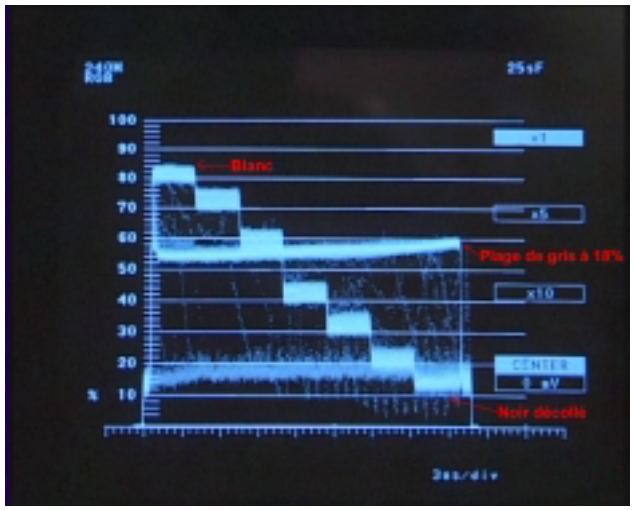
Plan 8 : Gros plan sur la main droite de l'astronome qui tient entre ses mains le papier qui vient de sortir de la machine : il s'agit de quatre petites photos de la jeune fille, bouche bée. L'axe de prise de vue est parallèle au sol, la caméra est fixe. Un iris se ferme se le visage de la jeune fille.

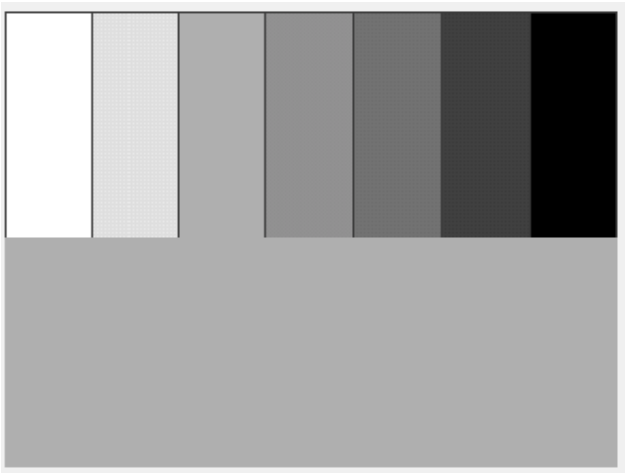
Durée : 10 secondes.

2.3. Paramètres de prise de vues et visualisation à l'oscilloscope

L'étape préparatoire à une prise de vues en haute définition est le réglage du moniteur haute définition de référence. A l'aide de la visualisation sur le moniteur d'une mire de barres, SNG ou SMPTE, on peut étalonner les valeurs de blanc, gris et noir par réglage du contraste et de la luminance du moniteur. Mais seuls les moniteurs HD de grande taille, les 32 pouces et les 24 pouces, donnent une restitution réellement fiable du signal. Pour les raccords lumière et l'équilibrage des contrastes de plan à plan, on peut même se permettre d'effectuer des mesures au spotmètre directement sur l'écran. Les 20, 14 et 9 pouces ne sont pas véritablement des moniteurs HD et ne présentent pas de réglages aussi fins que ces derniers. Pour le tournage de cet exercice, je n'ai eu moi-même accès qu'à un moniteur 9 pouces de terrain.

La deuxième étape est la détermination, lors des essais, d'une sensibilité relative de la caméra haute définition utilisée. Il faut pour cela se placer dans une configuration de base neutre, c'est-à-dire sans commencer à intervenir sur le paramétrage des menus internes de la caméra. Cependant, il faut d'ors et déjà choisir le gamma que l'on souhaite utiliser pour la prise de vues. En effet, un certain nombre de réglages de base est à déterminer suivant les conditions de prise de vues. En film, cela revient à choisir différentes émulsions suivant les contraintes d'éclairage de chaque séquence. On procède donc comme en film à l'aide d'une charte de gris à 18%. La visualisation à l'oscilloscope doit donner pour ce gris neutre une valeur correspondant à 70% du 1V du blanc, c'est-à-dire 700 mV. Les 70% de la tension correspondent précisément aux 18% de la charte de gris. Ceci est du à la correction de gamma des caméras vidéo. L'utilisation d'une échelle de gris pour accompagner ce gris neutre donne une meilleure appréciation de la dynamique du signal. A partir de l'éclairement fourni, on affiche une ouverture de diaphragme pour faire correspondre la zone de l'image comprenant la plage de gris à 18% avec la graduation 700 mV de l'oscilloscope, puis on effectue une mesure au posemètre pour définir la sensibilité d'émulsion qui permet cette ouverture de diaphragme. Lors de mes essais sur une « Lily » éclairée uniformément, j'ai du afficher une ouverture de diaphragme égale à F8 pour placer la plage de gris neutre à 700 mV. La mesure que j'ai ensuite effectuée au spotmètre sur la « Lily » m'a indiqué une sensibilité de 320 ISO à F8. Contrairement aux spécifications techniques du constructeur, donnant la HDW-F900 pour F10 à 2000 lux soit 640 ISO, j'ai utilisé cette caméra comme une émulsion de sensibilité 320 ISO. Jean-Pierre Sauvère l'a estimé à 250 ISO pour *Vidocq* mais les essais de la CST ont démontré que la sensibilité de la HDcam était de 320 ISO en hautes lumières et 500 ISO en basses lumières. Afin de faciliter mon travail sur le mélange de l'argentique et du numérique, j'ai donc utilisé une émulsion de sensibilité identique : la Kodak Vision 320T (5277). L'objectif était le zoom Panavision Digital Primo 6-27 mm, monté sur la version « panavisée » de la 24p de Sony. A titre indicatif, il faut préciser que cette mesure de la sensibilité de la caméra ne doit pas être effectuée dans la position téléobjectif maximale d'un zoom car cette distance focale est obtenue par déplacement d'un groupe de lentilles flottantes qui diminuent sensiblement la transmission de l'objectif. L'allure du signal visualisé sur un oscilloscope WFM 1125 de Tektronix ainsi que la « Lily » sont reproduites par les illustrations présentées ci-dessous.





Comme la latitude d'exposition, la dynamique et la saturation de la HDW-F900 semblent plus proche d'un film inversible que d'un film négatif, j'ai décidé de travailler en légère sous-exposition, tout en modifiant le gamma suivant les conditions de prise de vues. D'autre part, la grande sensibilité de cette caméra m'a donné envie de travailler dans le pied de courbe, avec un niveau de noir suffisamment décollé pour préserver de l'information en vue du retour sur film. On peut, a contrario, utiliser la position – 3 dB de la fonction « GAIN » pour diminuer la sensibilité de la caméra et atténuer le niveau de bruit. Comme l'inconvénient majeur du numérique est la gestion des sur-blancs, j'ai décidé d'utiliser la HDcam pour les séquences en basses lumières et la Moviecam 35 mm pour les séquences de jour. Dans les illustrations présentées ci-dessus, ces choix expliquent le fait que la plage de blanc soit placée à 800 mV, la plage de gris à 550 mV et que le noir soit décollé à 100 mV.

La troisième étape consiste à choisir une courbe caractéristique parmi les différents types de gamma proposés par le paramètre « GAMMA » du menu « PAINT ». Ce choix détermine également un pied de courbe (Black Gamma), une pente (Coarse) et une épaule de courbe (Knee). Le paramètre « GAMMA » présente 6 standards de courbe (Gamma Table) numérotés de 1 à 6 et 3 types de pente de 0,40, 0,45 et 0,50. Ces standards correspondent à des courbes de contraste faible, moyen et fort. On y retrouve les caractéristiques sensitométriques d'émulsions film proposées sur le marché et des gammas de télévision. On peut

également constituer sa propre courbe en modifiant les paramètres du Black Gamma et du Knee. J'ai choisi, pour le tournage du film de partie pratique, la Gamma Table 3 et la pente 0,45. Deux plans, dont les caractéristiques étaient de présenter une source dans le champ, m'ont amené à changer de courbe pour utiliser la Table 2, qui présente une épaule plus douce et préserve les détails dans les hautes lumières, avec toujours un gamma de 0,45. La fonction « TEST » peut également être employée pour le réglage du gamma. Elle permet de visualiser directement au moniteur la forme de la courbe de la fonction de transfert, aussi appelée « dent de scie ».

La quatrième étape concerne la colorimétrie. Il s'agit de choisir l'espace couleur avec lequel on va travailler ou d'effectuer un matriçage particulier. Cette étape consiste également à faire une balance des blancs et des noirs. Les différents espaces couleur proposés par le paramètre « USER MATRIX » du menu « PAINT » sont le SMPTE-240M, le ITU-709, le SMPTE-WIDE, le NTSC, le EBU et le ITU-609. Pour se faire une idée de leur étendue, on peut les visualiser sur en configuration « Vector » sur le WFM 1125. J'ai choisi, pour l'ensemble de mes prises de vues, le ITU-709 car il offre une saturation moyenne, moins importante que le SMPTE-240M choisi par Pitof et la CST, et correspond bien aux caractéristiques colorimétriques de l'émulsion Kodak Vision 320T (5277). Pour effectuer la balance des blancs lorsqu'ils travaillent en haute définition, nous avons vu que les opérateurs cinéma avaient tendance à se placer volontairement dans les conditions de tournage film en favorisant l'utilisation d'un « preset » de température de couleur plutôt que de faire une balance des blancs manuelle. La HDW-F900 dispose d'une roue de filtre qui permet d'équilibrer la caméra dans les températures de couleur 3200K, 4300K et 6300K, la valeur 5600K étant obtenue électroniquement dans la position « Clear » de la roue de filtre. Il est évident que faire une balance des blancs reviendrait à corriger en vert et en magenta. On préférera, le cas échéant, effectuer cette correction à l'aide de filtres placés devant l'objectif ou sur les éclairages, ce qui offre un bien meilleur contrôle de la colorimétrie. A ce propos, j'ai constaté que la HDcam, comme la Digital Betacam, présente à la base une dominante magenta qui donne un rendu des carnations plus flatteur. La balance des noirs doit être effectuée régulièrement, environ toutes les deux heures.

Les caméras vidéo numériques comme la HDcam ont un rendu que l'on appelle « texturé », car il est possible de travailler, à l'aide des menus, sur la texture de l'image par intervention sur les paramètres de traitement du signal. En regard des paramètres utilisés sur *Vidocq* et *The truth about Charlie*, et à partir des essais effectués par la CST pour le Parallèle argentique/numérique - 35mm/24p, j'ai donc travaillé avec la HDW-F900 à partir d'un réglage de base optimisé pour le transfert sur film et le mélange avec des images 35 mm, tout en conservant la liberté de modifier, suivant le cas, certains paramètres des menus internes de la caméra. Il est nécessaire pour cela de faire des essais et de se renseigner auprès du laboratoire de post-production afin de paramétrer au mieux la 24p. Même si la partie pratique de cette recherche n'a pas été finalisée en 35 mm, il était indispensable de prendre ces précautions pour la cohésion de l'ensemble du film. Enfin, la HDW-F900 en version « panavisée », que j'ai utilisé pour le tournage de cet exercice, a été paramétrée en maintenance pour les caractéristiques photométriques du zoom Panavision Digital Primo 6-27 mm. Ce paramétrage concernait essentiellement les

réglages de White Shading et de Black Shading du menu « MAINTENANCE » et le réglage de Flare du menu « PAINT ».

Réglages de base de la 24p :

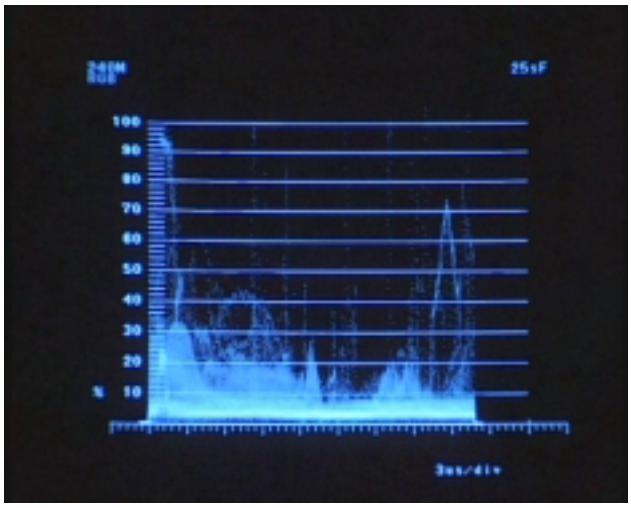
Gamma coarse : 0,45
Gamma table : 3
(5 pour *Vidocq* et 1 pour *The truth about Charlie*)
Gain : 0 dB
Detail : Off
Crispen : Off
Knee : Off
Slope : Off
White clip : 11 (735 mV)
Skin Tone Hue : Off
Skin Tone detail : Off
Black level : 0
White Level : 0
User matrix preset (standard couleur) : ITU-709
(SMPTE-240M pour *Vidocq*)

Pour compléter cette partie je donne ci-dessous les paramètres de prise de vues des plans du film tournés en 35 mm avec l'émulsion Kodak Vision 320T (5277) :

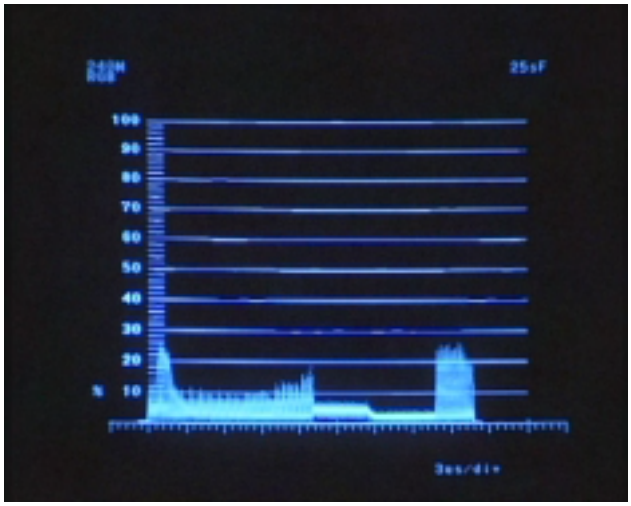
Plan 2/1 : T = 2 + 1/2, f = 32 mm.
Plan 2/3 : T = 2 + 1/2, f = 32 mm.
Plan 2/4 : T = 4, f = 50 mm, effet nuit dans la découverte (T = 2,8), lampe bureau (T = 4 + 1/3), fibre optique (T = 5,6 + 1/2).
Plan 3/3 : T = 4, f = 16 mm, d = 4,5 m.
Plan 3/5 : T = 4, f = 32 mm.
Plan 3/6 : T = 4, f = 32 mm, d = 3 à 5,6 m, hautes lumières (T = 11), basses lumières (T = 2 + 1/2).
Plan 3/7 : T = 2,8, f = 32 mm, d = 2 à 3,1 m.
Plan 3/8 : T = 2,8, f = 50 mm, d = 1,2 m.

Les illustrations qui suivent sont annotées par les paramètres de prise de vues, afin de permettre une lecture synoptique des résultats. Je n'indique les différentes configurations des menus que lorsqu'elles changent par rapport aux réglages de base choisis pour la 24p. Pour les paramètres standards de prise de vues, j'ai utilisé les abréviations suivantes :

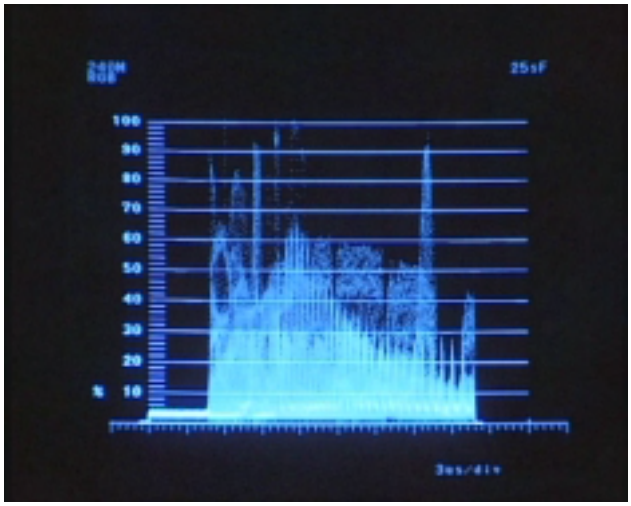
T : Ouverture de diaphragme
F : Focale
D : Distance de mise au point
C : Cadence et mode d'analyse (entrelacé / progressif)
S : Vitesse d'obturation du Shutter



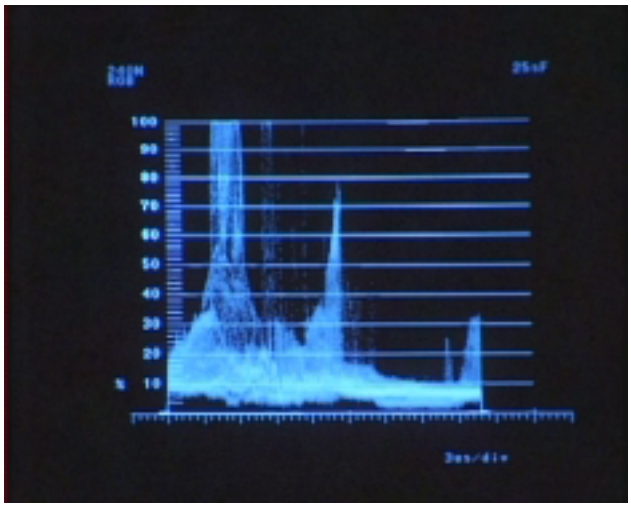
<u>Plan 1/1 (prise 2)</u> : Sensibilité en basses lumières
T = 1,8
F = 14 mm
D = 6,7 m
C = 25 PsF
S = 1/50ème
Filtres : 1 (Clear) B (CC 3200K)
Noirs décollés à 20 mV



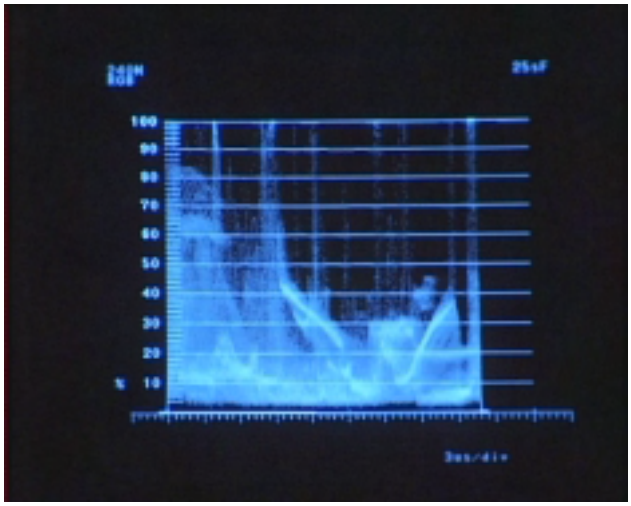
<u>Plan 1/2-A (prise 1)</u> : Basses lumières et stroboscopie
T = 8 + 1/3
F = 9 mm
D = de 6 m à 4,8 m
C = 25 PsF
S = 1/25ème
Filtres : 1 (Clear) B (CC 3200K)
Black gamma Y : 0
Gamma (M) : - 2
Knee Point : + 30
Slope : + 75
White clip : 0



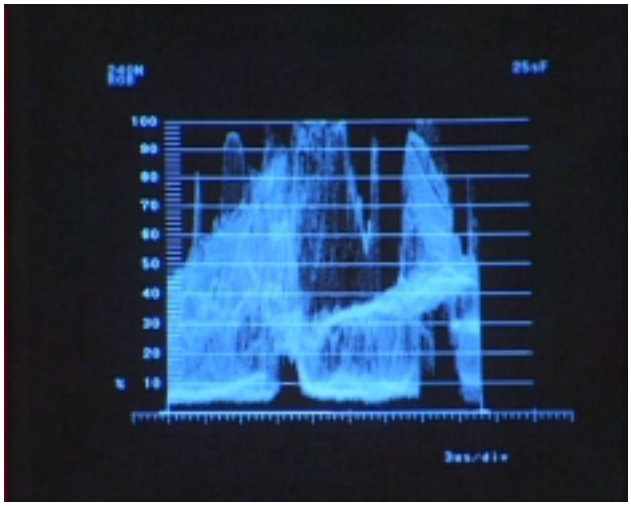
<u>Plan1/2-B</u>
D = 9,75 m



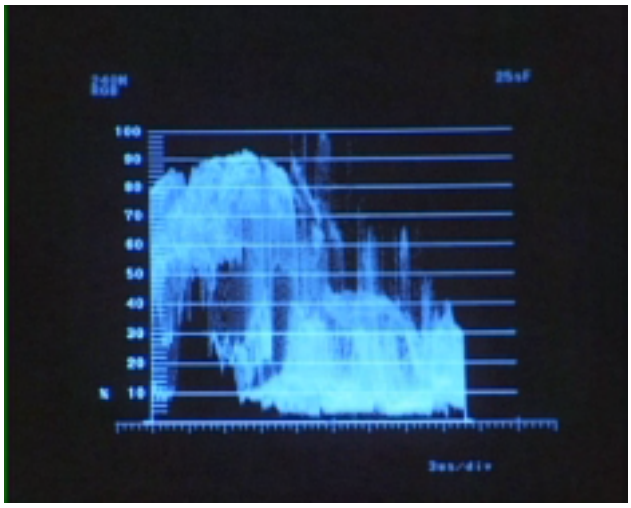
<u>Plan 2/2-A (prise 3)</u> : Stroboscopie
T = 2,8
F = 12 mm
D = 6,7 m
C = 25 PsF
S = 1/50ème
Filtres : 1 (Clear) B (CC 3200K)
Gamma (M) : - 2
Gamma coarse : 0,45
Gamma table : 2
Knee Point : + 80
Slope : - 37
White clip : + 65
Pic de saturation du rouge à 1V



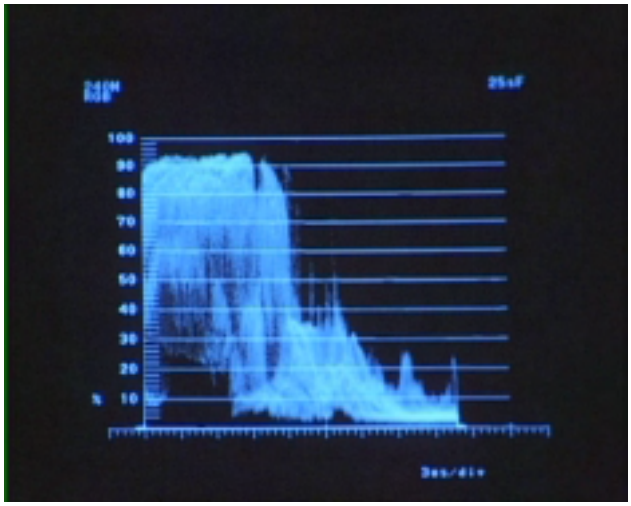
<u>Plan 2/2-B</u>



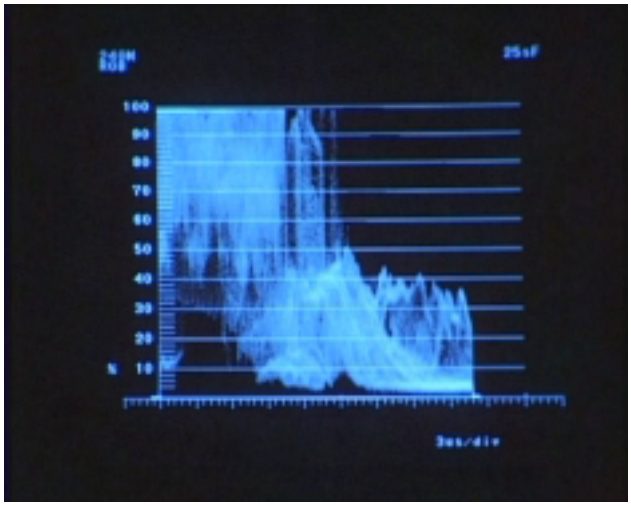
<u>Plan 2/2-C</u>



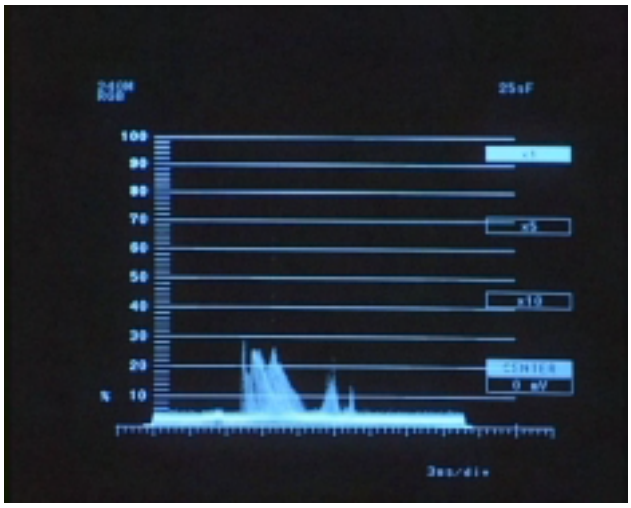
<u>Plan 2/5-A (prise 7)</u> : Hautes lumières
T = 2,8 + 2/3 (variation de 5,6 à 5,6 + 1/2 sur le globe terrestre)
F = 18 mm
C = 25 PsF
S = 1/50ème
Filtres : 1 (Clear) B (CC 3200K)
Gamma (M) : - 2
Gamma coarse : 0,45
Gamma table : 2
Knee Point : + 45
Slope : 0
White clip : + 75



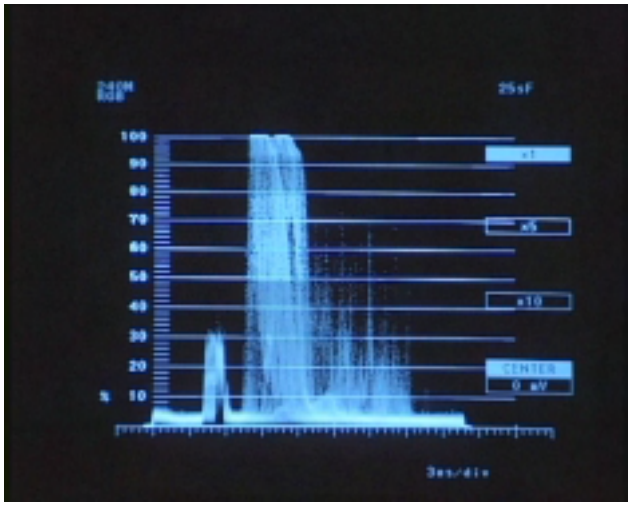
<u>Plan 2/5-B</u>
Montée des niveaux supérieurs



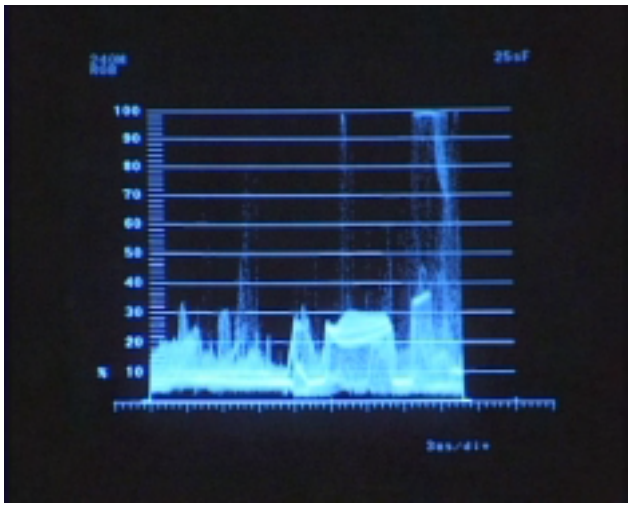
<u>Plan 2/5-C</u>
Ecrêtage des blancs



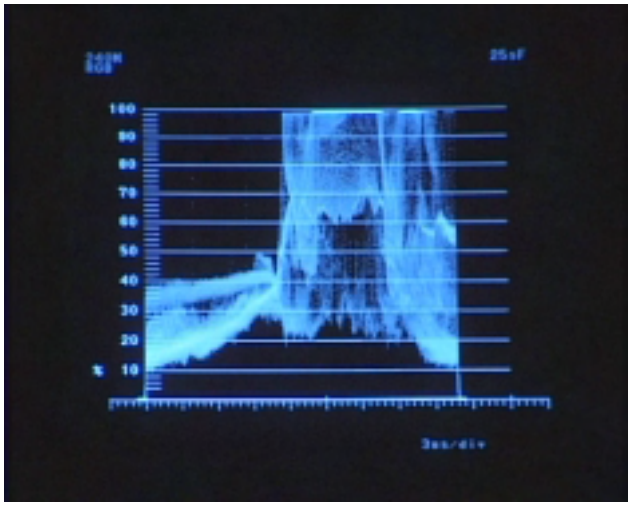
<u>Plan 3/1-A (prise 8)</u> : Dynamique et filtre de diffusion
T = 4 (variation de 1,4 à 8 sur le visage)
F = 27 mm
C = 25 PsF
S = 1/25ème
Filtres : 1 (Clear) B (CC 3200K) + Black Diffusion FX 1
Black gamma Y : + 99
Gamma (M) : - 2
Gamma coarse : 0,45
Gamma table : 2
Knee Point : + 20
Slope : + 20
White clip : (R) : 7, (G) : 11, (B) : 11, (M) : 53



<u>Plan 3/1-B</u>
Saturation et écrêtage des blancs à 1V.



<u>Plan 3/4-A (prise 7)</u> : Surexposition, profondeur de champ et panoramique filé
T = 2 + ½
F = 14 mm
D = 6,7 m
C = 25 PsF
S = 1/50ème
Filtres : 2 (1/4 ND) pour réduire la profondeur de champ B (CC 3200K)



<u>Plan 3/4-B</u>
Saturation et écrêtage des blancs à 1V. Décollement des noirs à 100 mV.

2.4. Interprétation des résultats

Plan 1/1 (prise 2) : Sensibilité en basses lumières

Ce plan met en évidence la grande sensibilité de la HDW-F900 en basses lumières. Malgré la grande ouverture de diaphragme affichée (T1,8) et le faible éclairement de la scène, on constate que la profondeur de champ reste très importante. La fonction de transfert choisie est la Table 3, de gamma 0,45. Les noirs sont décollés de seulement 20 mV et l'enveloppe globale du signal dépasse à peine 300 mV, mais le rendu subjectif de l'image laisse apparaître une large gamme de détails dans le pied de courbe. L'écrêtage des blancs (White Clip) est paramétré à + 11, comme dans le réglage de base. L'obturateur électronique (Shutter) est réglé sur une durée d'exposition de 1/50ème de seconde, ce qui correspond à l'obturation d'une caméra film pour une cadence de 25 images/s. On peut constater sur ce point que la restitution du mouvement est similaire à celle d'une prise de vues film Enfin, l'équilibrage de la caméra à 3200K en température de couleur donne une dominante bleutée à la scène, éclairée par des HMI non filtrés (5600K). Malgré la saturation des bleus profonds et des ombres, l'image conserve une large gamme de couleurs.

Plan 1/2 (prise 1) : Basses lumières et stroboscopie

Ce plan reprend les mêmes conditions de prise de vues mais les paramètres changent légèrement. La fonction de transfert est la même, le gamma est de 0,45 et le niveau de noir est toujours à 20 mV mais l'écrêtage des blancs (White Clip) a été diminué de + 11 à 0. De plus, l'intervention sur le Knee a permis d'adoucir l'épaule de la courbe pour retrouver du détail et pour éviter la saturation des hautes lumières. L'obturateur électronique est réglé sur une durée d'exposition de 1/25ème de seconde, ce qui atténue le léger effet de stroboscopie provoqué par le mouvement de panoramique de l'appareil. En contrepartie, un effet de « motion blur », ou flou de bougé, apparaît très nettement sur les objets en mouvement. Par habitude de l'œil, on peut dire que ce phénomène donne un « effet vidéo » à l'image, qui raccorde difficilement avec le plan suivant d'origine 35 mm.

Plan 2/2 (prise 3) : Stroboscopie

Ce plan met en évidence un défaut typique du système d'analyse du mouvement en mode progressif : la stroboscopie. On constate que celle-ci est proportionnelle au contraste, à la netteté et, bien sûr, à la vitesse à laquelle l'objet traverse le champ. De plus, la courbe de la fonction de transfert choisie pour ce plan présente un pied avec des noirs plus décollés et une épaule plus douce (Table 2), avec toujours un gamma de 0,45. On peut remarquer malgré tout, dans la première partie du plan (illustration A), un pic de saturation à 1V correspondant au niveau de rouge.

Plan 2/5 (prise 7) : Hautes lumières

Ce plan met en valeur la gestion du détail dans les hautes lumières. La courbe choisie est la même que pour le plan précédent (Table 2), avec toujours un gamma de 0,45. Un léger écrêtage des blancs a été effectué. L'épaule de la courbe a été adoucie par action sur le Knee. Une prise a été effectuée avec le filtre 2 (1/4

ND), correspondant à un filtre de densité N6, pour diminuer la trop grande profondeur de champ. Les tonalités de couleur rouge et orangée sont très saturées. On peut voir sur l'allure du signal, représentée par les illustrations B et C, qu'une légère augmentation de l'intensité lumineuse (1/2 E.V.) de la source dans le champ amène progressivement une saturation des hautes lumières, qui fait disparaître les détails des niveaux supérieurs.

Plan 3/1 (prise 8) : Dynamique et filtre de diffusion

Ce plan constitue une sorte d'essai de Key light sur un visage destiné à mesurer la dynamique et la latitude de pose du signal généré par la HDW-F900. A la prise de vues, la variation de l'éclairement du visage représentait un écart de 5 E.V. L'expérience montre que la caméra n'encaisse qu'un écart de 4 E.V., en-dessous on voit apparaître du bruit dans les basses lumières, au-dessus on sent une perte d'information provoquée par la saturation et l'écrêtage des hautes lumières. L'utilisation d'un filtre de diffusion « Black Diffusion FX » a permis de tester un moyen d'atténuer l'effet de contour caractéristique du numérique, d'adoucir le visage et d'améliorer le rendu de la carnation.

Plan 3/4 (prise 7) : Surexposition, profondeur de champ et panoramique filé

Ce plan a pour objet de tester la surexposition et un mouvement d'appareil particulièrement déconseillé en mode progressif : le panoramique filé. Le début du plan est posé normalement alors que la fin est nettement surexposée. On remarque bien, sur l'illustration B, la saturation totale et très rapide des blancs à 1V. De plus, les noirs sont décollés à 100 mV. Une fois encore, malgré le faible niveau d'éclairement, le filtre 2 (1/4 ND), correspondant à un filtre de densité N6, a été utilisé pour diminuer la profondeur de champ.

3. Essai parallèle argentique / numérique – 35 mm / 24p de la CST [3]

[3] Document CST.

4. Conclusions de la partie pratique

Pour le cinéma numérique et la TVHD, le caméscope Cinealta est un très bon outil, en avance sur son temps. Il devrait s'imposer dans les années à venir pour les films employant des effets spéciaux et l'étalonnage numérique, ainsi que pour les programmes de stock de la futur télévision numérique. De plus, avec le numérique, le cinéma se rapproche des arts plastiques. A ce titre, le menu « PAINT » de la HDcam porte un nom révélateur, et c'est celui dont l'opérateur est amené à se servir le plus. Ajoutons à cela le fait que Pitof ait été séduit par les qualités plastiques de cet outil, très proche de la peinture.

Lors des prises de vues, j'ai expérimenté, à la manière de Philippe Ros, la surexposition et les contrastes élevés pour tester la machine dans des conditions de lumière extrêmes. L'utilisation d'un oscilloscope gérant la haute définition, comme le WFM 1125 de Tektronix, permet d'éviter l'écrêtage des hautes lumières et le tassement des basses lumières. Le rôle de l'assistant opérateur est effectivement proche de celui de l'ingénieur de la vision car il veille à la configuration des différents paramètres du signal. J'ai testé le gamma pour les standards de gamma 2 et 3, tout en conservant une pente de 0,45, qui est vraisemblablement la plus appropriée à un retour sur pellicule 35 mm. De plus, le « Master gamma », le « Black gamma », le « Knee », et le « White clip » sont des paramètres essentiels du travail de la courbe, qui aident à obtenir un rendu d'image plus riche en nuances et une latitude de pose proche de celle du film. Cependant, la texture de l'image et la colorimétrie de la haute définition sont différentes de celles du 35 mm, mais le mélange de ces deux formats est possible si l'on paramètre les réglages de la caméra en fonction de l'émulsion que l'on choisit.

Concernant l'analyse du mouvement, toutes les prises sélectionnées pour le montage ont été effectuées en mode 25 PsF pour éviter les problèmes de flicker et pour permettre un report sur film sans désentrelacement. Le mode progressif donne un résultat vraiment très proche de l'analyse du mouvement d'une caméra film, avec ses qualités et ses défauts. En effet, ce dernier paramètre m'a permis de mettre en valeur l'effet de stroboscopie caractéristique du film et de l'analyse du mouvement en mode progressif. Toutefois, j'ai fait la comparaison dans des prises annexes avec le mode entrelacé. Certains plans comportent des mouvements rapides faisant apparaître l'effet de stroboscopie. Sur ce point, j'ai pu remarquer que, lors d'une visualisation sur un moniteur HD de référence, ce phénomène est quasiment omniprésent. L'explication en est simple : c'est le balayage à 48 Hz qui rend ce défaut particulièrement perceptible sur un moniteur. En effet, après un transfert sur film, ce phénomène est similaire à celui engendré par la projection 35 mm. Une fois encore, le mélange des supports de prise de vues 35 mm et haute définition fonctionne donc plutôt bien, à condition de respecter certains réglages de base.

Le zoom Panavision Digital Primo 6-27 mm m'a permis d'expérimenter la gestion de la profondeur de champ, que j'ai pu réduire grâce à l'addition des filtres ND de la caméra. Chaque fois qu'un plan le nécessitait, j'ai cherché à « casser » le piqué de la 24p à l'aide des filtres de diffusion « Black Diffusion FX ». En effet, j'ai constaté que l'utilisation de filtres de type « Promist », « Soft FX » ou « Black Diffusion FX » permet de palier au problème de l'effet de contour de la vidéo, adoucit les visages et améliore le rendu des carnations. Toutefois, des progrès notables restent à faire aujourd'hui dans le domaine de l'optique appliquée à la vidéo haute définition numérique.

Conclusion

L'avenir de la prise de vues en haute définition numérique va dépendre de l'évolution des caméras, de la projection numérique et du coût des procédés mis en oeuvre, qui reste pour l'instant sensiblement le même que pour une production classique. Mais si le film 35 mm reste dans l'immédiat le support privilégié pour la prise de vues cinéma, cela est essentiellement dû à des phénomènes économiques et psychologiques. Le coût d'un tournage en haute définition reste encore trop élevé pour certaines productions et les opérateurs film sont attachés au support argentique qu'ils maîtrisent. Il en est de même pour le prix des systèmes de projection numérique qui rebutent encore les exploitants. De plus, il faudra un certain temps pour que le spectateur s'habitue à la projection numérique et pour que l'accès à la TVHD se démocratise. En effet, le cinéma et la télévision, tels qu'on les connaît aujourd'hui, vont laisser une forte empreinte affective dans l'esprit du public. Toutefois, on peut aisément prédire à court terme que la haute définition va bouleverser ces habitudes.

Les caméras haute définition numériques sont de très bons outils pour le cinéma numérique et la TVHD. Elles sont le format d'avenir des films employant des effets spéciaux et l'étalonnage numérique. En effet, l'explosion des possibilités créatives de la prise de vues et du traitement numérique ne peut pas laisser indifférents les réalisateurs et les directeurs de la photographie. Des films de long métrage de prestige comme *Star wars episode II* ou *Vidocq*, ayant recours aux effets spéciaux et à l'étalonnage numérique, se tournent déjà en haute définition. Les problèmes actuels de coût et de lenteur des procédés de post-production sont liés aux mélanges des technologies photochimiques et numériques, mais ils devraient se régler avec le développement de la projection numérique qui évitera, au moins, l'étape du retour sur film. D'autre part, la haute définition s'annonce comme un support de prédilection du tournage et de la post production des programmes de la télévision numérique. Mais le travail en haute définition amène d'autres méthodes de travail et l'ensemble de la profession n'a pas encore intégré ces nouveaux modes de fonctionnement.

Hormis la définition, les apports essentiels des standards d'image haute définition sont le système progressif et la compatibilité des formats mondiaux. Avec la HD, les transferts entre le film, la vidéo et les systèmes informatiques sont nettement simplifiés. De plus, les avantages pratiques de la vidéo numérique haute définition sont : le faible coût des cassettes, la possibilité de cloner une bande numérique, la sensibilité en basses lumières, la simplicité du traitement des images (étalonnage, correction de gamma, trucages), le travail en temps réel des effets spéciaux sur fonds d'incrustation, le visionnage immédiat des rushs, et la stabilité de l'image en projection. Mais le manque de diversité des caméras haute définition actuelles, leurs limitations, notamment au niveau de la prise de vues à grande vitesse, et le peu d'objectifs de qualité proposés sur le marché font que les opérateurs hésitent encore à les utiliser. De plus, leur faible dynamique requiert une attention particulière quant à la latitude de pose et à la conception de la lumière. Leur ergonomie et la facilité d'accès aux menus internes méritent encore quelques améliorations et l'aspect pratique des équipements vidéo est encore loin d'égaler celui des équipements film, hérité de 100 ans d'expérience du cinéma. Enfin, les coûts de location et d'achat sont encore trop élevés par rapport aux caméras film.

La perspective d’avenir d'un cinéma « tout numérique » est encore loin mais la technologie avance très vite et le coût des équipements va se démocratiser. Pour certaines productions de télévision ou de long métrage, il sera bientôt plus facile et moins onéreux de tourner directement en haute définition plutôt qu’en film. Si la question se pose aujourd’hui en terme esthétique, elle se posera demain en terme économique et dépendra de l’évolution des caméras haute définition, des scanners et des imageurs, des systèmes informatiques et de la projection numérique.

Annexes au film de partie pratique

Plan de travail

Mars : 01/03/01 : Essais 35mm (ENSLL)
03/03/01 : Préparation de tournage (ENSLL)
05, 06 et 07/03/01 : Tournage 35mm (ENSLL)
14/03/01 : Essais HD (Alga Panavision)
15 et 16/03/01 : Tournage HD (ENSLL)
28/03/01 : Copie HD sur Betacam SP (Alga Panavision)

Avril : 04/04/01 : Télécinéma 35mm (GTC)
06/04/01 : Dérushage (ENSLL)
Du 09/04/01 au 21/04/01 : Montage sur Betacam SP et post-production (ENSLL)

Liste technique

LISTE TECHNIQUE

MISE EN SCENE :

Réalisateur : Alexis LAMBOTTE

PRISE DE VUES :

Directeur de la photo / Ingénieur de la vision : Thomas COLLIGNON
Cadreur : Alexis LAMBOTTE
1er Assistant opérateur : Cyrille VALROFF

MAQUILLAGE :

Chef maquilleuse : Gwendoline (06.86.16.25.73.)

ELECTRICITE :

Chef électricien : Thomas COLLIGNON
Electriciens : Marilyne BUR
Marc MILANI
Gilles PIQUARD
Rodolphe BERTRAND
Marc-Antoine MULLIEZ

MACHINERIE :

Chef machiniste : Cyrille VALROFF
Machinistes : Marc-Antoine MULLIEZ
Arnaud CARNEY

MONTAGE :

Chef monteur image & son: Alexis LAMBOTTE

EFFETS SPECIAUX & ETALONNAGE NUMERIQUE :

Superviseur des effets spéciaux : Cyrille VALROFF

Liste artistique

LISTE ARTISTIQUE

ROLE	*PRENOM, NOM*	*ADRESSE*	*TELEPHONE*
Le savant fou	**Denis BLANCHARD**	ENSLL (Montage films) 7, allée du Promontoire B.P. 22 93161 NOISY LE GRAND Cedex	01.48.15.41.72.
La voleuse	**Malvina HERAUD**	110, rue Jean-Pierre Timbaud 75011 PARIS	06.63.66.03.19.

Liste des décors

LISTE DES DECORS

JOUR	*LIEU*	*DECOR*	*SEQUENCE*	*EFFETS*
05, 06, 07, & 16/03/01	**ENSLL : Plateau A**	**Laboratoire**	**2 & 3**	**INT. NUIT/JOUR.**
15/03/01	**ENSLL : Plateau B**	**Armoire**	**3**	**INT. NUIT/JOUR.**
15/03/01	**ENSLL : Toit de l'école**	**Toit**	**1**	**EXT. NUIT.**

Liste du matériel

LISTE DU MATERIEL DE PRISE DE VUES

VIDEO	- 1 Caméscope HDW-F900 version « panavisée » + accessoires - 1 Zoom 6-27mm Digital Primo - 1 Magnétoscope HDW-F500 - 1 Analyseur vidéo WFM 1125 Tektronix - 1 Moniteur BVM-D9 (de terrain) - 1 Série de filtres Black Diffusion FX 1, 2, 3 - 1Série de filtres Promist 1/8, ¼, ½, 1
FILM	- 1 Caméra Moviecam Super (fenêtre au format 1 : 1,85) + magasins (2) + plaque de décentrement + tiges - 1 Série d'objectifs Zeiss (12 / 16 / 24 / 32 / 40 / 50 / 85) - 1 Follow Focus Universel - 1 Matte Box - 1 Paresoleil Moustique - 1 Filtre 85 - 1 Filtre 81 EF - 1 Filtre 80 - 1 Série de filtres Fog 1/8, ¼, ½ - 1 Série de filtres Low Contrast 1/8, ¼, ½

MATERIEL ASSISTANT	- 1 Changing Bag - 1 Table de profondeur de champ Samcine MK 11 - 1 Décamètre - 1 Chronomètre - 1 Mag-lite - 1 Loupe - 1 Tom pouce - 1 Paire de ciseaux - 1 série de tournevis - 1 série de clés halène - 1 Pince - 1 Spigo
INSTRUMENTS DE MESURE	- 1 Cellule Spectra IV numérique - 1 Spotmètre Pentax - 1 Thermocolorimètre - 1 Verre de contraste Spectra - 1 Charte de gris LILY 18% - 1 Charte couleur Macbeth - 1 Chercheur de champ - 1 Mire de pompage - 1 Clap d'identification + marqueur Velleda
CASSETTE	- 1 cassette HDcam 22 minutes.
PELLICULE	- 2 boîtes de 122 mètres de Kodak 5277 Vision 320T (35mm).
CONSOMMABLES	- 1 Rapport image - 1 Dust-off - 1 Bombe à mater - 1 rouleau de chatterton noir - 1 rouleau de gaffer noir 50mm - 1 rouleau de gaffer blanc 25mm - 1 bâtonnet de buis - 1 Pinceau - 1 Feutre noir effaçable - 1 Feutre rouge effaçable - 1 Feutre noir indélébile - 1 Feutre rouge indélébile - 1 flacon de Kodak Lens Cleaner - Papiers optiques - Boîtes + noyaux + sacs noirs - Etiquettes labo

LISTE DU MATERIEL D'ECLAIRAGE

ECLAIRAGE	- 1 x 6 KW Sirio HMI - 2 x 575 W Shaula HMI - 1 x 5 KW (2 x 2.5) Pollux - 1 x 2 KW Castor - 1 x 1 KW Fresnel Polaris - 2 x 500 W Mizars - 3 x 650 W Arri - 3 x 300 W Arri - 2 x 250 W Cremer - 3 x 800 W Mandarines - 2 x 2 KW Blonde - 1 x Tube fluorescent "lumière noire" - 1 x 1000 W Flash Photo Broncolor - 2 x 100W Ampoules domestiques - 1 Chimera - 3 Pieds Manfrotto à Crémaillère - 7 Pieds Manfrotto 1 KW - 3 Pieds Légers Manfrotto - 1 Pied Baby Manfrotto - 1 Pied "Tortue" - 3 Porte-polys - 3 Polys - 2 Bras de déport équipés de rotules - 10 rotules - 10 clamps - 5 Spigos - 15 Elingues - 3 Volets Arri - 5 Bras magiques - 3 petits drapeaux - 3 grands drapeaux - 1 série de mammas (noir, rouge, jaune, blanc) - 1 rouleau de ½ White Diffusion - 1 rouleau de ¼ Spun - 1 rouleau de ½ CTO - 1 rouleau de ¼ CTO - 1 rouleau de 1/8 CTO - 1 rouleau de ½ CTB - 1 rouleau de ¼ CTB - 1 rouleau de 1/8 CTB - 1 rouleau de DN3 - 1 rouleau de DN6 - 1 rouleau de DN9 - 1 rouleau de Black Cinefoil - Pinces à linge

ELECTRICITE	- 3 câbles de ligne mono 63A - 2 prolongateurs Mono 32A - 15 prolongateurs Mono 16A - 1 boîte Mono 63A / Mono 3 x 32A - 1 boîte Mono 63A / Mono 12 X 16A

LISTE DU MATERIEL DE MACHINERIE

MACHINERIE	- 1 Pied grandes branches + triangle - 1 Pied petites branches + triangle - 1 Base - 1 Tête Sachtler 7x7 + manches - 2 Praticables - 8 Cubes 15x20x30 - 6 Cubes de base - 10 Gueuses Sac de sable - 3 Sangles - 4 Rails droits 1m80 + 1 rail droit 0,90m + 2 rails courbes + tendeurs + cales (sifflet, battant) + serre-joints - 1 Grand chariot travelling + boogies - 1 Dolly sur pneumatiques - 1 Elemack + accessoires - 1 Bras Mini-Jib + 10 Gueuses en fonte - 1 WD 40 - 1 Craie

Partenaires et fournisseurs

LISTE DES PARTENAIRES

PARTENAIRE	***COORDONNEES***	***SERVICE***
Panavision Alga	**35, rue Pleyel 93207 SAINT-DENIS Tél. : 01.48.13.25.50. Fax : 01.48.13.25.51.**	**Prise de vues HD Copie HDcam/Betacam SP**
Sony France	**20-26, rue Morel 92110 CLICHY Tél. : 01.55.90.42.06. Web : www.sony.fr/pro**	**Cassette HDcam**

Ecole Nationale Supérieure Louis Lumière	**7, allée du Promontoire B.P. 22 93161 NOISY LE GRAND Cedex Tél. : 01.48.15.40.10. Fax : 01.43.05.63.44. Web : www.ens-louis-lumiere.fr**	**Prise de vues 35mm Montage Post-production**

LISTE DES FOURNISSEURS

FOURNISSEUR	*COORDONNEES*	*SERVICE*
GTC	**1, quai Gabriel Péri 94340 JOINVILLE LE PONT Tél. : 01.45.11.70.00. Fax : 01.48.83.77.56. Web : www.gtc.fr**	**Laboratoire**

Bibliographie

Ouvrages

BERNARD Hervé, *L'image numérique et le cinéma - Un pont entre l'argentique et le numérique*, Eyrolles, 2000.

Articles de magazines et revues spécialisées

L'intermédiaire numérique au service de la création, Actions N°13, automne 2000.

How Roger Deakins and the Cohen Brothers explored new territory in the digital suite, In Camera, octobre 2000.

KERLOCH Pascal, *L'image numérique toujours plus haut*, Sonovision N°444, octobre 2000.

MIER Guy Louis, *L'avenir en 0 et en 1,* Le Technicien Film & Vidéo N°498, mars / avril 2000.

Scene to screen, automne 2000.

Sony Vision N°31, novembre 2000.

Dossiers techniques de la CST

BAPTISTE Michel, *Une normalisation mondiale des dimensions d'enregistrement et de restitution des images sur films 35mm*, Dossier Technique de la CST N°27, octobre 2000.

BOSQUILLON Sophie et PIGEON Jacques, *La HD numérique et le 24p*, Dossier Technique de la CST N°26, juin 2000.

CST : *Essai parallèle argentique/numérique – 35 mm/24p.*

DUCLOS Françoise (Kodak), *Gestion des couleurs dans le cadre des chaînes de traitement d'images numériques*, Dossier Technique de la CST N°18, juin 1999.

DUCLOS Françoise (Kodak), *Rappel sur la colorimétrie des films*, Dossier Technique de la CST N°21, avec l'aide des supports de cours du CEFOM Kodak du CTP Ciné Chalons s/Saône et de Michel BAPTISTE (CST), novembre 1999.

DUPONT Jean Fabien (Kodak), *Le Film et le futur de la captation des images*, conférence publiée dans le SMPTE Journal (Society of Motion Picture and Television Engineer) et traduite par Matthieu SINTAS dans le Dossier Technique de la CST N°23, février 2000.

HELT François et SINTAS Matthieu, *Les mesures sur les images numériques : l'histogramme*, Dossier Technique de la CST N°16, avril 1999.

SINTAS Matthieu, *Le gamma en vidéo*, Dossier Technique de la CST N°1, novembre 1997.

SINTAS Matthieu, *Le projet ADTT de cinéma électronique*, Dossier Technique de la CST N°10, octobre 1998.

SINTAS Matthieu, *Les nouveaux formats vidéo : progressifs ou entrelacés ?*, Dossier Technique de la CST N°19, d'après la conférence de Bernard TICHIT (Thomson Broadcast Systems) lors des VI^{èmes} Rencontres de la CST, septembre 1999.

SINTAS Matthieu, *Les formats d'enregistrement vidéo numériques*, Dossier Technique de la CST N°20, octobre 1999.

SINTAS Matthieu, *L'étalonnage numérique des films*, Dossier Technique de la CST N°22, janvier 2000.

SINTAS Matthieu, *Le cinéma numérique au congrès de la FNCF Poitiers 2000*, Dossier Technique de la CST N°28, novembre 2000.

Conférences et festivals

Conférences du « *Festival Cinealta* » (Sony France), 11 et 12 octobre 2000.

Conférence du Satis e-cast 2000 : Journée Cinéma numérique « *Le cinéma numérique vu par ses utilisateurs. De Pitof à Wim Wenders* », 6 novembre 2000.

Forum européen du film numérique, « *Songe d'une nuit DV* », 17, 18 et 19 novembre 2000.

Sites web

www.pro.sony-europe.com, septembre 2000.

www.arte.com, octobre 2000.

Emission de télévision

Thema (Arte) : *Petites révolutions culturelles : Micro-cinéma*, 24 octobre 2000.

Documentation technique

Panasonic : *AJ-HDC20A.*

Panasonic : *AJ-HD3700.*

Panasonic : *AJ-HDR150.*

Panasonic : *DVC Pro Line-up catalogue 3rd edition.*

Sony : *CA Cinealta HDCAM HDW-F900 Digital Camcorder.*

Sony : *CA Cinealta HDCAM HDW-F500 Digital Recorder.*

Sony : *CA Cinealta BVM-D Series.*

Sony : *Guide de la fiction TV en numérique.*

Sony : *Mode d'emploi HDW-F900.*

Thomson Multimedia Broadcast Solutions : *Focus on the digital moment with the LDK 7000 series camera system.*

Thomson Multimedia Broadcast Solutions : *The Magic is yours. A multi-format HDTV camera.*

Wiswell David, *AJ-HD3700 D5-HD multi-format mastering VTR*, Panasonic, avril 2000.

Table des illustrations

Document de la Commission Supérieure Technique de l'image et du son (CST).

Document Gaumont.

Document Kodak.

Document Panasonic.

Documents et schémas Sony.

SINTAS Matthieu, *Les formats d'enregistrement vidéo numériques*, Dossier Technique de la CST N°20, octobre 1999.

Sonovision N°451, mai 2001.

Thomson Multimedia Broadcast Solutions : *Focus on the digital moment with the LDK 7000 series camera system.*

Thomson Multimedia Broadcast Solutions : *The Magic is yours. A multi-format HDTV camera.*

Remerciements

Jean-Marie ADAM (**CST**)
Jean-Pierre ALIPHAT
Dominique AUBERT
Frédérique BACQUET
Benjamin BERGERY et Philippe (**Panavision Alga**)
Hervé BERNARD
Ulrich BLATTMANN (**Bogard**)
Dominique BOUYALA-DUMAS (**CST**)
Dominique BRABANT
Alain BREVARD (**Acmé Films**)
Gilles BRIBANT (**Panasonic France**)
Pascal CHARPENTIER
Philippe COROYER
Michel COTERET (**ENSLL**)
CST
Alain DELHAISE (**ENSLL**)
Jean-Jacques DEVOS (**Sony France**)
ENSLL
Jean-Noël FERRAGUT
Jean-Louis FOURNIER
Pascal GIROUX (**Rigolo Films**)
Christian GUILLON (**L EST**)
Pascal KERLOCH (**Sony France**)
Alexis LAMBOTTE
Francine LEVY (**ENSLL**)
Christian MARTINACHE (**Vidéo Plus**)
Vincent MULLER
Jean Paul MUSSO (**Ancor**)
Sébastien NAAR
PITOF
Philippe ROS
Mathieu SINTAS (**CST**)
Jean-Louis SONZOGNI
Magalie THIRION
Frédéric THOLLET
Michèle TULLI et Yves TULLI (**Acmé Films**)
Tommaso VERGALLO (**Duboi)**

II. La technologie numérique haute définition

1. Normes et standards

Aux États-Unis, la compétition entre le 720p et le 1080i, a divisé les broadcasters en deux camps : les tenants de la télévision traditionnelle rejettent le progressif, tandis que ceux qui se sont rapprochés des informaticiens prônent son utilisation. Dans les normes américaines ATSC, le 720p présente des atouts par rapport au 1080i. Il offre l'avantage de fonctionner à la même fréquence de liaison série que le 1080i, si bien que de nombreux équipements, mélangeurs, grilles, sont commutables et compatibles. En télévision, 720 lignes en progressif donnent une définition verticale supérieure à 1080 lignes entrelacées. Le 720p comporte 1280 points, donc moins que les 1920 du 1080i. Mais ce chiffre est déjà bien suffisant pour la diffusion, car les 1920 ne parviendront pas au téléspectateur avant longtemps. Le caméscope HD qui rencontre le plus de succès actuellement, le HDcam, n'enregistre que 1440 points par ligne et aucun tube cathodique de télévision grand format, surtout en grand public, ne restitue les 1920 points. Avec les caméras commutables, on peut choisir l'un ou l'autre des standards sans passer par des opérations fastidieuses de transfert ou de transcodage. « *Sur la base du HD-CIF, énormément de choses sont prévues dans la norme. Au sommet, on trouve du 1080 à 60 Hz progressif, mais l'énorme débit de 3 Gbits le réserve à un avenir encore lointain. Certains pensent, bien sûr, que c'est l'ultime format de la HD. Le CIF permet de décliner dans toutes les fréquences images de la télévision (60 Hz, 50 Hz et les variantes US comme le 59,94) mais aussi du cinéma (24 Hz). Avantage certain de l'image électronique en 24p : on diffuse un film en télévision à 25 Hz ou à 30 Hz (grâce au 3/2 pull down) au moindre coût et sans conversion dégradante pour l'image.* »[1].

1.1. ITU-R BT.709-4

La ITU-709-4, reconnue par l'UER, est la quatrième version de la norme mondiale de spécification de l'image numérique haute définition. Elle définit le format d'image commun dénommé CIF, pour Common Image Format, de résolution 1920 points par ligne x 1080 lignes utiles et de rapport 16/9 ou 1,78 en pixels carrés, comme standard international HD pour les applications de fiction en 24p et TVHD, à quelque cadence image que ce soit. Par contre, la norme laisse le choix, suivant les pays, de la cadence et de la fréquence image.

1.2. SMPTE-274M

Adoptée en 1995, la SMPTE-274M est la norme fondatrice de la haute définition. Elle détermine le standard, le nombre de pixels, le format d'image, la fréquence d'échantillonnage, le débit numérique commun (CDR ou Common Data Rate) de l'interface appelée HD-SDI et le nombre total de lignes de l'image haute définition, présente et à venir. La fréquence d'échantillonnage est de 74,25 MHz en

[1] BOSQUILLON Sophie et PIGEON Jacques, *La HD numérique et le 24p*, Dossier Technique de la CST N°26, juin 2000.

luminance et de 37,125 MHz en chrominance pour toutes les cadences progressives et entrelacées, à l'exception des futures cadences progressives 50p et 60p qui auront une fréquence de 148,5 MHz. Chaque échantillon est quantifié sur 8 ou 10 bits. « *L'Europe avait choisi logiquement 72 MHz, une valeur quatre fois supérieure au débit de la vidéo numérique standard, plus un facteur multiplicateur pour l'élargissement de l'image au 16/9 (13,5 MHz x 4 x 4/3). Les Japonais optèrent pour un chiffre un peu supérieur, de 74,25 MHz (13,5 x 4 x 1,375), soit un coefficient multiplicateur de 5,5. Il était raisonnable d'adopter la même fréquence d'échantillonnage, pour permettre à chacun de fabriquer des matériels (magnétoscopes, interfaces numériques…) compatibles, quelle que soit la fréquence image. Ce qui fut fait : l'interface HD-SDI supporte donc le débit de 1,485 Gbits/s. Les fabricants japonais de magnétoscopes se sont montrés persuasifs ; ce sont eux qui fabriquent pour l'Europe. Il est, bien entendu, moins coûteux de concevoir des magnétoscopes pour les deux marchés (50 et 60 Hz) et l'Europe est dépourvue d'une industrie des magnétoscopes, exception faite de Philips avec le VooDoo.* »[2]. Le nombre total de lignes pour la TVHD a été fixé à 1125, d'origine NHK, contre 1250, ce qui ne représente pas une grande différence, car en numérique, seul le nombre de lignes actives compte.

1.3. SMPTE-292M

La norme SMPTE-292M décrit la sérialisation des données parallèles suivant la norme SMPTE-274M. La liaison série HD-SDI permet de transporter les données numériques générées par les appareils haute définition. Le débit de l'interface HD-SDI semble énorme aujourd'hui mais, contrairement à l'interface parallèle, l'avantage de la sérialisation est de transporter toutes les données sur un seul câble coaxial, ou sur fibre optique, et sur de longues distances. L'image, le son et les données auxiliaires (métadata) sont transportés par cette liaison. « *Jusqu'à 10 bits par échantillon de luminance et de couleur peuvent être accordés, mais ceci n'est pour l'instant pas utilisé* »[3], précise Pascal Kerloch. Seuls le D6 VooDoo de Philips et le D5 HD de Panasonic enregistrent la luminance en 10 bits et la chrominance en 8 bits, ce que ne permettent pas les autres magnétoscopes HD actuels. Les codes CRC, ou Cycling Redondancy Code, protègent les données contre les erreurs de transmission. La longueur du câble coaxial est limitée à 100 mètres mais la fibre optique permet d'aller bien au-delà.

2. Le signal haute définition

Dans les premiers systèmes vidéo numériques, le signal est de type composite numérique, mais les enregistreurs comme le D2 et le D3, intégrés dans un environnement composite analogique, ont eu très peu de succès. L'échantillonnage se fait à une fréquence égale à 4 fois la sous-porteuse de chrominance, en Pal comme en NTSC, d'où l'appellation 4 Fsc. Le débit est de 143 Mbits/s en NTSC et de 177 Mbits/s en Pal. En 1981, la recommandation BT 601 de l'ITU-R a défini une norme internationale pour la télévision

[2] BOSQUILLON Sophie et PIGEON Jacques, *La HD numérique et le 24p*, Dossier Technique de la CST N°26, juin 2000.
[3] KERLOCH Pascal, *L'image numérique toujours plus haut*, Sonovision N°444, octobre 2000.

numérique composante, permettant la compatibilité des systèmes 625/50 et 525/60. Le signal devient alors de type composantes numériques. La norme donne les fréquences d'échantillonnage des signaux pour plusieurs niveaux de qualité. Le niveau standard, utilisé par la majorité des équipements vidéo, est le 4:2:2. Il est transporté par l'interface numérique série SDI. L'acronyme « 4:2:2 » indique les multiples de la fréquence unitaire d'échantillonnages donnants les signaux de luminance et de chrominance. Cette fréquence unitaire commune aux systèmes 625 et 525 lignes est de Fu = 3,375 MHz. Le multiplexage des signaux de luminance et de chrominance aux fréquences d'échantillonnage de $Fe_{(Y)}$ = 13,5 MHz, $Fe_{(Cb)}$ = 6,75 MHz et $Fe_{(Cr)}$ = 6,75 MHz donne une fréquence d'horloge de 27 MHz pour chacun des 8 ou 10 bits. Le taux de transfert total est donc de 270 Mbits/s en 10 bits (27 x 10) et de 216 Mbits/s en 8 bits (27 x 8). Le débit utile, qui ne prend en compte que la partie affichable de l'image, est de 207 Mbits/s en 10 bits et de 166 Mbits/s en 8 bits. Dans la nouvelle norme CIF, le signal haute définition est du type composantes numériques YUV ou YP_rP_b, avec une bande passante des voies de chrominance réduite de moitié par rapport à la luminance. Par analogie avec le 4:2:2, le profil HD est noté 22:11:11. La fréquence unitaire d'échantillonnage est, comme pour toute composante numérique, Fu = 3,375 MHz. Si l'on multiplie cette fréquence par les coefficients du profil 22 : 11 : 11, on obtient la fréquence d'échantillonnage de la luminance $Fe_{(Y)}$ = 74,25 MHz et la fréquence d'échantillonnage de la chrominance $Fe_{(Cb)}$ = 37,125 MHz et $Fe_{(Cr)}$ = 37,125 MHz. La quantification de chaque composante se fait sur 8 ou 10 bits avec une pré-compensation de gamma de type vidéo à 0,45. Le débit total donne: (74,25 + 37,125 + 37,125) x 10 = 1,485 Gbits/s. Il est environ 5 fois supérieur à celui de la vidéo standard.

Interface numérique série Haute Définition
HD-SDI *(Serial Digital Interface)*, norme SMPTE 274 M [4]

Fréquence d'échantillonnage de la luminance : Fe = 74,25 MHz

Fréquence d'échantillonnage de la chrominance : Fe = 37,125 MHz pour Cb
Fe = 37,125 MHz pour Cr

Quantification de chaque composante : 10 bits

Débit total : (74,25 + 37,125 + 37,125) x 10 = **1,485 Gigabits/seconde**

Les deux formats HDcam et DVC Pro HD sous-échantillonnent et compressent les données image. Seul le D6 VooDoo, magnétoscope réservé à la post-production très haut de gamme enregistre sans compression. Le HDcam favorise la luminance dans un rapport de 3:1 avec la chrominance, donnant un profil comparable à du 16,5 : 5,5 : 5,5, ce qui offre une bonne qualité d'image en première génération. Le DVC Pro HD conserve le rapport 2:1 entre luminance et chrominance, donnant un profil comparable à du 16,5 : 8,25 : 8,25 en 50i et 14,66 : 7,33 : 7,33 en 60i, ce qui permet une meilleure stabilité des couleurs en post production et en multi-génération. Pour enregistrer ces formats HD sur des caméscopes portables et des magnétoscopes à environ 100 Mbits/s, il faut donc effectuer une décimation du signal par pré-filtrage numérique et sous-échantillonnage, suivi d'une compression. Le sous-échantillonnage de l'image au format CIF ramène les 1920 échantillons de luminance à 1440 et les 960 échantillons de chrominance à 480. L'image sous-échantillonnée reçoit ensuite une compression utilisant un algorithme propriétaire

[4] BOSQUILLON Sophie et PIGEON Jacques, *La HD numérique et le 24p*, Dossier Technique de la CST N°26, juin 2000.

HDcam ou DVC Pro, c'est-à-dire une transformation en DCT avec création d'une boucle de quantification des coefficients DCT, suivi d'un codage à longueur variable (CLV). Les canaux audio sont enregistrés sans compression.

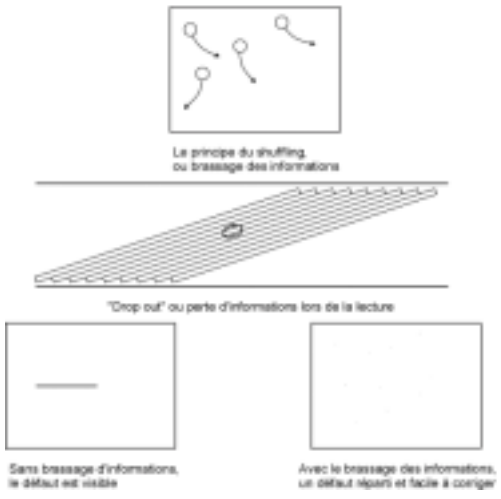
Caractéristiques du signal haute définition

Nombre d'échantillons par ligne complète	
Pour la luminance Y	2000
Pour chaque signal de chrominance (Cr, Cb)	1000
Fréquence d'échantillonnage	
Pour la luminance Y	74,25 MHz
Pour chaque signal de chrominance (Cr, Cb)	37,125 MHz
Nombre d'échantillons par ligne active numérique	
Pour la luminance Y	1920
Pour chaque signal de chrominance (Cr, Cb)	960
Quantification	8 ou 10 bits linéaire,à partir des signaux précorrigés en gamma
Débit numérique Total	1,485 Gbits/s
Nombre de lignes actives	1080
Nombre de lignes totales	1125

2.1. Le brassage des données et les corrections d'erreurs

Le brassage des données ou « shuffling » consiste à enregistrer à des endroits différents les informations qui correspondent à des zones voisines de l'image pour fractionner et répartir dans l'image un éventuel défaut. Ainsi, les magnétoscopes numériques ne présentent pas de défauts lors de la lecture, comme les drop out ou les parasites dans l'image. D'autre part, les codes de correction d'erreurs permettent de retrouver des données perdues ou erronées.

Principe du brassage des données [5]


Le principe du shuffling,
ou brassage des informations
"Drop out" ou perte d'informations lors de la lecture
Sans brassage d'informations,
le défaut est visible
Avec le brassage des informations,
un défaut réparti et facile à corriger

[5] SINTAS Matthieu, *Les formats d'enregistrement vidéo numériques*, Dossier Technique de la CST N°20, octobre 1999.

2.2. La réduction de débit ou BRR

La réduction de débit ou BRR (Bit Rate Reduction) du signal numérique comporte trois étapes. Le codage en DCT a pour but de réduire l'entropie du signal. « *L'entropie est le nombre minimum d'éléments nécessaires pour coder une information. Le signal vidéo, sous sa forme originelle, présente une entropie très élevée.* »[6]. Le codage en DCT consiste à découper les images en blocs de 8 x 8 pixels ou 8 x 4 pixels et à les représenter dans le domaine fréquentiel par la Transformée de Fourrier. Les matrices obtenues ont une entropie très faible, car l'énergie est concentrée principalement dans le bas du spectre. Cette opération est sans perte car il s'agit simplement d'une réorganisation des données pour permettre un codage plus efficace. La quantification et le contrôle de débit : La quantification applique des coefficients afin de réduire les écarts de niveaux dans les hautes fréquences où l'œil est moins sensible. Une opération de seuillage ramène ensuite à zéro les coefficients inférieurs à une certaine valeur, ce qui a pour effet de réduire le bruit. La quantification est ajustée en permanence de manière à contrôler la constance du débit adapté au mode d'enregistrement. Cette étape engendre de grandes pertes de données. Le codage à longueur variable est une lecture en zigzag des matrices destinée à regrouper les coefficients nuls et à attribuer aux autres coefficients un code dont la longueur varie en fonction de leur importance.

Dans le caméscope HDW-F900 de Sony, le signal HD est compressé au taux de 4,4 : 1 pour une réduction de débit totale de 7, soit un débit vidéo enregistré sur bande de 144 Mbits/s en 60i, 126 Mbits/s en 25p et 115,2 Mbits/s en 24p. Ce débit comprend la vidéo, l'audio, les données de corrections d'erreurs (CRC), les informations de synchronisation, etc. Dans la tête caméra, le signal RVB est traité par un convertisseur 12 bits logarithmiques, d'où l'appellation « caméscope 12 bits ADSP ». Mais, lors du passage par l'ensemble du traitement, les composantes YUV sont sous-échantillonnées sur 10 bits, c'est-à-dire divisées par deux, et enfin, lors de l'enregistrement dans le magnétoscope, elles sont encore sous-échantillonnées sur 8 bits, ce qui constitue une perte d'informations définitive. Dans les caméscopes DVC Pro HD, le taux de compression est de 6,7 : 1 pour un débit vidéo enregistré sur bande est de 100 Mbits/s. Pour prendre en compte ce haut débit, 4 codecs DVC Pro sont placés en parallèle.

3. Les caméscopes HD

En parallèle aux recherches menées par Philips sur la haute définition, un prototype de caméra progressive a été réalisé pour le projet ADTT de cinéma électronique, à partir d'un cahier des charges établi par des opérateurs de long métrage cinéma : la caméra CinéVidéo. La société Angénieux a conçu les objectifs et réalisé la caméra. Le CRIL Ingénierie a fourni les interfaces, Enertec les enregistreurs de données, Philips les capteurs CCD et Thomson TBS les serveurs. Afin de s'approcher des caractéristiques du film, elle présentait déjà, en dehors de la définition en 1280 pixels x 576 lignes ramenée à 960 points par ligne, toute la philosophie de la haute définition. Son signal 625 lignes progressif à 25

[6] SINTAS Matthieu, *Les formats d'enregistrement vidéo numériques*, Dossier Technique de la CST N°20, octobre 1999.

images/s (625/50/1) occupe la même bande passante que la vidéo entrelacée (625/50/2) et utilise une liaison numérique série SDI à 360 Mbits/s. Pour éviter le scintillement trop important à 25 Hz, elle convertit le signal progressif 625/25/1 en 625/50/1 lors de la visualisation sur un moniteur haute définition progressif. Mais ce prototype était conçu pour le report sur film, où le balayage en 25 Hz était compensé par la double obturation du projecteur qui assure la même fonction. Il dispose d'un vrai viseur optique couvrant un champ plus large que l'image, au lieu d'une reprise sur un tube cathodique de petite taille et on peut lui adapter tous les objectifs de prises de vues cinéma. Si dans une caméra film l'image est formée sur un support unique, la pellicule, en vidéo il y a un séparateur optique, composé de trois prismes avec des filtres dichroïques pour séparer les composantes rouge, verte et bleue de la lumière vers les trois capteurs CCD 2/3". Pour l'adaptation des objectifs cinéma, la caméra CinéVidéo a un tirage mécanique de 48 mm dans l'air, ce qui représente plus de 60 mm de trajet effectif dans le verre, et les capteurs rouge et bleu sont légèrement décalés de quelques µm. « *Cette disposition, liée à la difficulté de réaliser des zooms sans aberration chromatique, c'est-à-dire ayant le même plan de mise au point pour toutes les couleurs et toutes les focales, fait l'objet d'une normalisation pour assurer la compatibilité des objectifs entre les différents constructeurs.* »[7]. Devant le bloc d'analyse, un adaptateur optique permet la focalisation sur les trois CCD et la conversion de la taille de l'image.

3.1. La HDcam ou Cinealta 24p de Sony

Tirant parti de cette tentative et de l'expérience de Philips en la matière, Sony a fait la synthèse des technologies expérimentées par ses concurrents et a conçu sa première caméra au format HDcam, de référence HDW-F900, qui travaille suivant les normes et standards TVHD (High Definition Television), c'est-à-dire au format 1920 x 1080, et analyse l'image en mode progressif, d'où le terme 24p. Ce caméscope se présente comme un matériel hybride ayant l'héritage de la vidéo numérique, via la technologie et l'ergonomie de la Betacam numérique, et l'héritage du film 35mm. L'appellation « Cinealta » est une marque déposée de Sony et le caméscope HDW-F900 appartient à cette gamme de produits qui comprend : la caméra HDW-F900, le magnétoscope HDW-F500 et le télécinéma Sony Vialta. La production du caméscope et du magnétoscope est prévue à 700 exemplaires sur 2 ans pour les USA et le Japon.

3.1.1. Les accessoires caméra

Le caméscope HDW-F900 présente la même ergonomie qu'une Digital Betacam, il en a les mêmes dimensions permettant l'ajout des nombreux accessoires de type cinéma développés pour la série DVW. Précisons que l'ajout de tous ces accessoires ainsi que de l'optique augmente considérablement le poids de l'ensemble qui, partant de 8 kg pour la HDW-F900, se rapproche alors de celui d'une caméra Arri 5-35 équipée. Alga Panavision propose en location une version dite « panavisée » de la HDW-F900 qui s'utilise avec le zoom 6-27 mm Digital Primo ou la série Digital Primo en monture Panavision et permet de bénéficier du système et de tous les accessoires standards de la gamme des caméras Panavision.

[7] SINTAS Matthieu, *Le projet ADTT de cinéma électronique*, Dossier Technique de la CST N°10, octobre 1998.

Entre autres, Alga Panavision a construit une loupe longue dont l'afficheur vidéo est déporté vers l'extrémité haute de l'accessoire et a rendu amovible le panneau de commande constitué des deux boutons de fonction et de la molette « Jog Dial » permettant la navigation dans les menus. Mais de nombreux opérateurs film lui reproche un défaut inhérent à toute caméra vidéo : l'absence de réserve au cadrage. Pour cela, il faudrait inventer un système de dérivation optique au lieu d'une visée vidéo. A défaut, la HDW-F900 dispose de repères de cadrage aux formats 4/3, 13/9, 14/9, 2/1 et 2,25/1.

3.1.2. Les cassettes

Les cassettes HDcam ont pour références BCT-124HDL / 64HDL / 40HD / 22HD, les chiffres indiquant la durée à la vitesse 30p (ou 60i), c'est-à-dire pour une fréquence de 60Hz. Par exemple la cassette grand format BCT-124HD dure 124 minutes en 30p (et 60i), mais 155 minutes en 24p. Le caméscope HDW-F900 n'accepte que les cassettes petit format de 22 et 40 minutes. Le magnétoscope HDW-F500 accepte toutes les tailles de cassettes. Les particules magnétiques sur la bande sont deux fois plus fines pour faire face au débit nettement supérieur au Digital Betacam. A titre indicatif, le prix d'une cassette HDcam, en janvier 2001, était de 1680 francs hors taxes pour une BCT-124 HDL et de 890 francs hors taxes pour une BCT-40 HD.

3.2. Les DVC Pro 100 HD de Panasonic

A l'instar de Philips et en réponse à la gamme Cinealta de Sony, Panasonic a développé deux caméras, l'une en 720p et l'autre en 1080i HD, appartenant à la gamme DVC Pro 100 HD. Les outils de production et de post production de cette famille sont optimisés pour le support économique et de faible débit qu'est le DV. L'argument de Panasonic face à Sony est donc de se placer dans la logique des productions à budgets modestes, c'est-à-dire plutôt le documentaire, le reportage et les news. Mais la qualité de l'image et les possibilités de post production dépendent des paramètres choisis, tant pour le filtrage que pour la compression qui doit rester faible pour les formats de production ou d'acquisition. Ainsi, contrairement à Sony, Panasonic a décliné sa gamme dans les deux formats actuellement considérés comme HD : le 1920 x 1080 et le 1280 x 720. Les appareils DVC Pro 100 HD ont une compatibilité descendante avec toute la gamme DVC Pro. Tout ces appareils peuvent être raccordés en SDTI pour le clonage de programmes ou pour les serveurs et utilisent l'interface HD-SDI avec un seul câble coaxial pour l'audio, la vidéo et les données. La plupart des machines sont multi-format. La gamme des produits DVC Pro 100 HD comprend des caméscopes, un magnétoscope et un serveur :

• Le AJ-HDC20 est un caméscope 1080i à enregistrement 1080/50i au format 1920 x 1080 pixels carrés, équipé d'un CCD de 2,2 millions de pixels de technologie FIT, en 10 bits A/D et 16 bits DSP, muni d'une interface HD-SDI.

• Le AJ-HDC27 est un caméscope 720p à enregistrement 720/60p au format 1280 x 720 pixels carrés, équipé d'un CCD de 1 million de pixels de technologie IT.
• Le AJ-HDC24A, en projet chez Panasonic, sera le premier caméscope multi-fréquence 720p au format 1280 x 720 pixels, équipé d'un CCD de 1 million de pixels de technologie IT. Il enregistre aux cadences 12p, 15p, 20p, 24p et 30p d'une précision de 1/1,001.• Le AJ-HD150 est un magnétoscope de studio à enregistrement / lecture 1080/60i, 1080/59.94i, 1080/50i et 720/60p. Il est capable de relire les DVC Pro 50, DVC Pro, DVcam et DV et peut enregistrer jusqu'à 8 pistes audio.• Le AJ-HDR150 est un serveur DVC Pro multidéfinition de 6 canaux maximum en DVC Pro HD et 12 canaux maximum en DVC Pro 50 ou DVC Pro. Il a une capacité interne de 20 heures maximum.

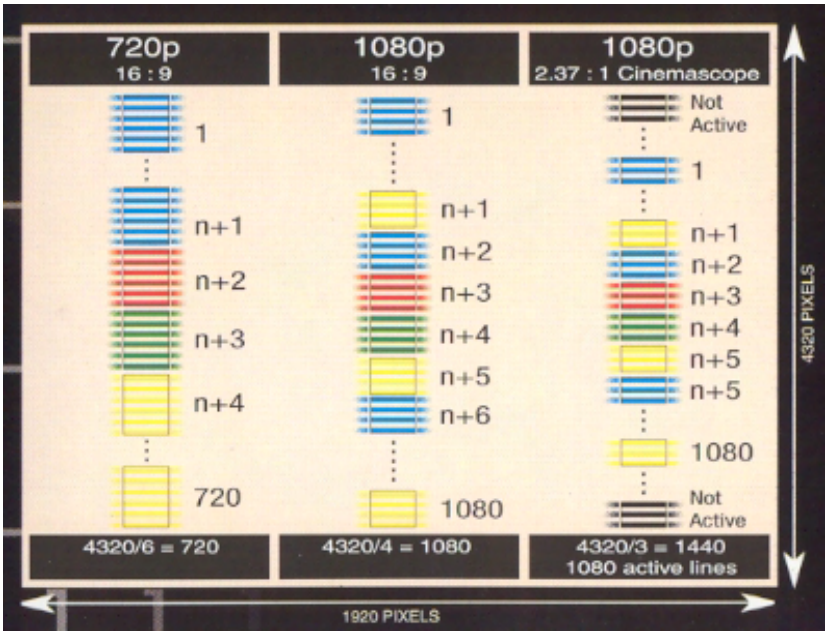
3.3. Les LDK 6000 et LDK 7000 de Philips et Thomson

Il y a cinq ans, Thomson a développé en France une caméra progressive, la Proscan, équipée d'un capteur Matsushita, mais celle-ci était au format SDTV (Standard Definition Television). Elle était donc destinée à la diffusion télévisuelle numérique mais pas à la fiction haut de gamme et au retour sur film. Depuis, Thomson a racheté le département production de Philips afin de compléter sa gamme de produits, en bénéficiant du développement des caméras vidéo haute définition et progressives. La société a présenté au NAB 2000 deux prototypes de caméras haute définition, la LDK 6000 HD-DPM en 720p et la LDK 7000 HD-DPM en 1080i, utilisant le même capteur à 9,2 millions de photosites à transfert d'image FT (Frame Transfer). En les groupant par quatre, selon la technologie DPM des capteurs FT de Philips, on obtient 1080 lignes, et par six 720 lignes. Au NAB 2001, Thomson/Philips a présenté un autre prototype de caméra haute définition, mais cette fois-ci numérique, la LDK 7000. Cette caméra n'est pas équipée d'un magnétoscope mais peut être raccordée à n'importe quel enregistreur HD, Thomson ayant un accord avec Panasonic pour préconiser l'usage du format DVC Pro HD.

Depuis le début des années 90, Philips a activement participé aux recherches technologiques sur la HDTV, en commençant par le développement de CCD à transfert d'image FT pour le standard européen et de la caméra haute définition analogique LDK 9000. Cette caméra fonctionnait dans les différents formats spatio-temporels 1152i50, 1080i60, 1035i60, 970i60, 576p50, 480p60 et 480p30. L'étape suivante a été le développement de la LDK 9000-720p. La première version était en 60 Hz, puis 72 Hz et 24 Hz. Basé sur la technologie DMP (Decomposition in Prime Multiple) des capteurs FT, un nouveau modèle à vu le jour : la LDK 2000 à 480p30 et 480i60. Le spectre temporel a ensuite été étendu avec la caméra grande vitesse LDK 23 en 150 Hz et 180 Hz. Après le rachat par Thomson du département broadcast de Philips, et grâce à la grande expérience de ce dernier dans la technologie des CCD et des caméras, une troisième génération de caméras est apparue : la LDK 6000 HD-DMP et la LDK 7000 HD-DMP. Ces caméras sont multi-formats, commutables en 1440p,1080p, 1080i, 720p, 480p et 480i au format 16/9, sans modification de la diagonale 2/3 de pouce de l'image et de l'angle de champ. Hormis la définition et le mode progressif, l'avantage de ces nouveaux

modèles réside essentiellement dans le traitement du signal en format natif, sans compression. Pour ce faire, le capteur a un format de 1920 pixels par colonne x 4320 lignes. La chaîne complète de traitement du signal repose sur 3 convertisseurs 12 bits analogique / numérique et 2 séries de menus utilisateur appelés « ASIC ». Cette nouvelle génération conserve le concept des têtes caméra SDTV 12 bits. Communément à tous les standards spatio-temporels HDTV, la fréquence d'échantillonnage de la luminance est de 74,25 MHz ou de 74,25 / 1,001 MHz pour les fréquences image comme le 59,94 Hz. Comme dans tous les systèmes HD, ces caméras emploient une liaison numérique série HD-SDI par un seul câble coaxial standard. Mais il s'agit de têtes caméra et non de caméscopes. A l'enregistrement, le prix à payer est lourd : il faut relier la caméra à un enregistreur HD de type Voodoo ou à un système informatique HD, si l'on veut conserver le signal au format natif. On arrive là au concept bien connu, mais tant rejeté par les opérateurs film, du mini-car régie. Toutefois, l'accord signé entre Thomson et Panasonic préconise l'usage de magnétoscopes DVC Pro 100 HD enfichables pour les configurations de terrain.

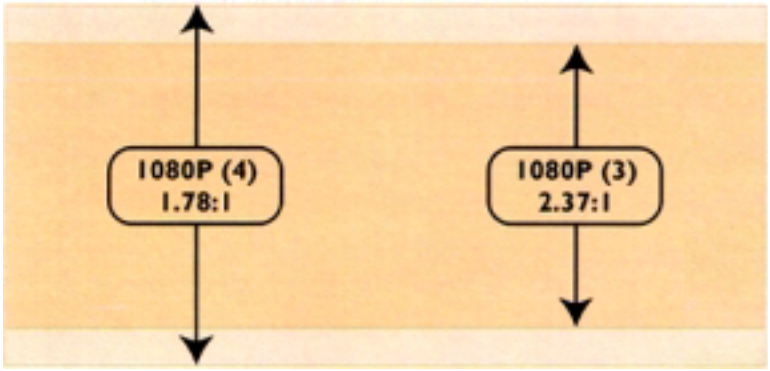
Les formats d'analyse des LDK 6000 et 7000 [8]



La LDK 6000 et la LDK 7000 possèdent un capteur très particulier de format 1920 pixels par ligne x 4320 lignes, comprenant 9,2 millions de pixels et capable d'analyser l'image en de multiples formats au rapport 16/9 (1080p, 1080i, 720p, 480p et 480i) et au rapport 2,35 (1440p). Parmi les caméras haute définition numérique que nous avons vues, elles sont les seules à proposer cette commutation de format et à permettre la prise de vues en format anamorphique (2,35), car elles sont capables de générer du 4K, le 2K étant insuffisant à cet usage.

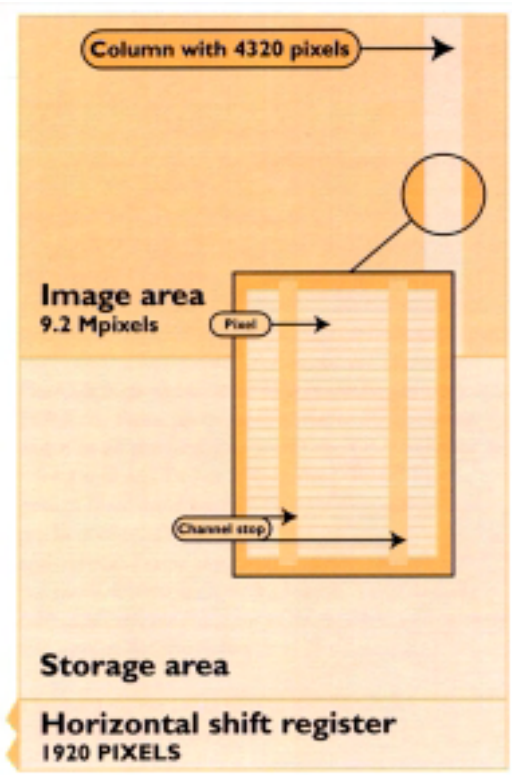
[8] Thomson Multimedia Broadcast Solutions : *Focus on the digital moment with the LDK 7000 series camera system*.

Formats 16/9 (4 pixels) et cinémascope (3 pixels) [9]



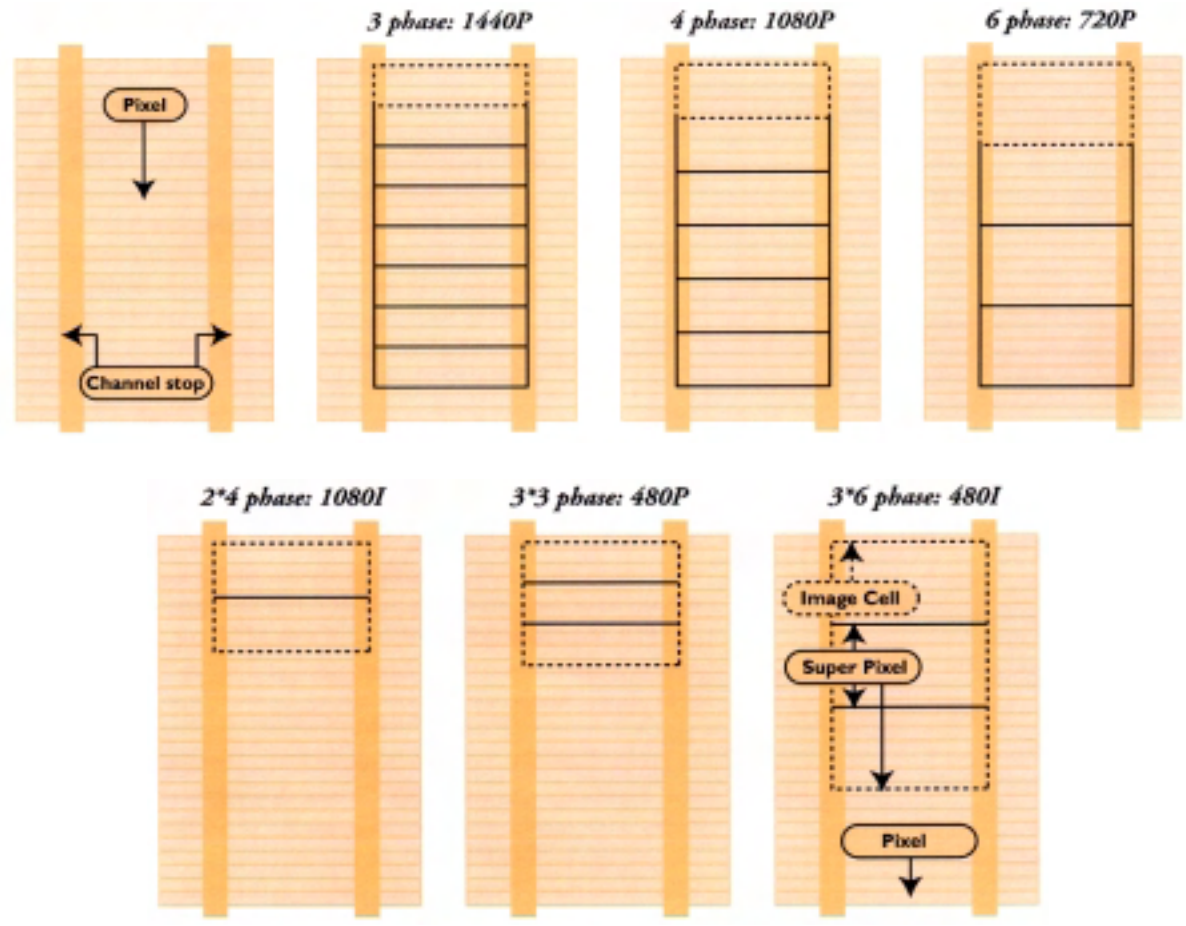
La technologie DPM est basée sur un principe de décomposition en nombres premiers. Le nombre minimum de pixels par colonne d'un format donné est déterminé par le plus petit commun multiple permettant d'obtenir, à partir du nombre de lignes du format 4320, le nombre de lignes du format inférieur. Cette approche mathématique consiste à trouver le plus petit entier positif qui soit un multiple de tous les éléments contenus à l'intérieur du groupe d'éléments du capteur. La combinaison de 3, 4 ou 6 pixels donne naissance à des « super pixels » pour les formats progressifs 1440p, 1080p ou 720p. Les formats entrelacés sont obtenus par combinaison de 2 groupes de 4 pour le 1080i, de 3 groupes de 3 pour le 480p et de 3 groupes de 6 pour le 480i. Ces groupes de « super pixels » sont alors appelés « cellules image » (Image Cell).

Le capteur HD DMP à transfert FT [10]

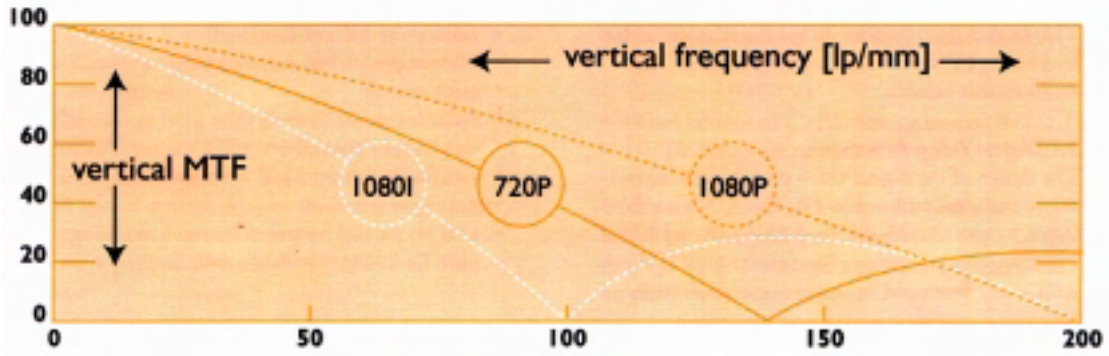


[9] Thomson Multimedia Broadcast Solutions : *The Magic is yours. A multi-format HDTV camera.*
[10] Thomson Multimedia Broadcast Solutions : *The Magic is yours. A multi-format HDTV camera.*

La combinaison des pixels [11]



MTF du capteur HD DPM [12]



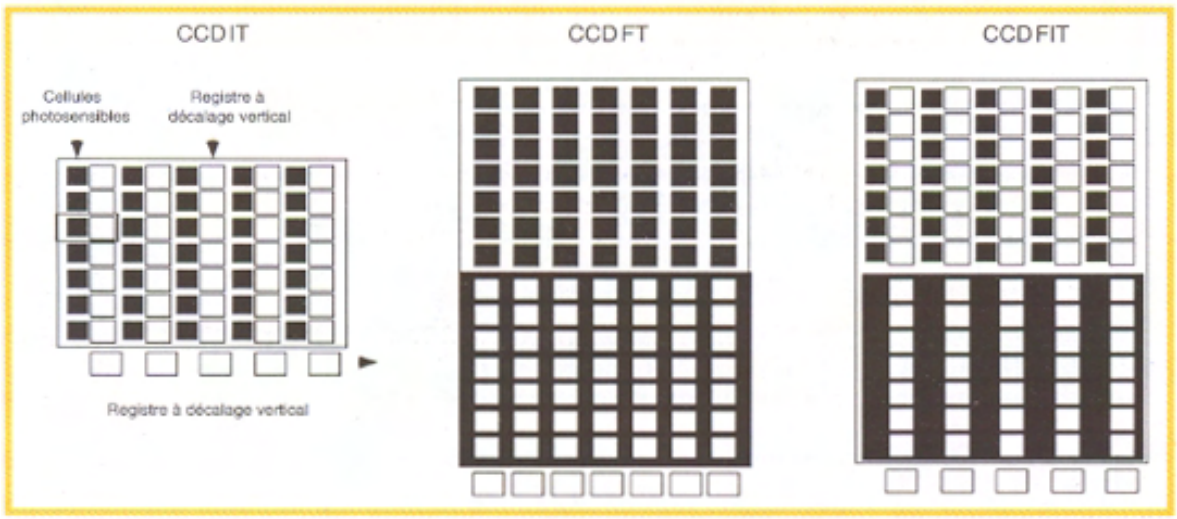
[11] Thomson Multimedia Broadcast Solutions : *The Magic is yours. A multi-format HDTV camera.*
[12] Thomson Multimedia Broadcast Solutions : *The Magic is yours. A multi-format HDTV camera.*

4. Les capteurs

Un capteur HD est constitué d'un bloc de trois CCD de diagonale 2/3 de pouce et de technologie IT, FT ou FIT suivant le constructeur. Un CCD au format 1920 x 1080 comprend 2,2 millions de pixels, alors qu'un CCD au format 1280 x 720 comprend 1 million de pixels. La seule exception à la règle est le capteur des LDK 6000 et LDK 7000 qui a pour format 1920 pixels rectangulaires x 4320 lignes, conservant le format 16/9 et totalisant 9,2 millions de pixels. Ces deux premiers types de capteur, équipant les caméscopes HD, ont pour caractéristiques :

- Résolution de 1920 pixels carrés x 1080 lignes ou 1280 pixels carrés x 720 lignes
- Format 16/9
- Sensibilité : F10 à 2000 lux, soit environ 640 ISO (pour la HDW-F900)

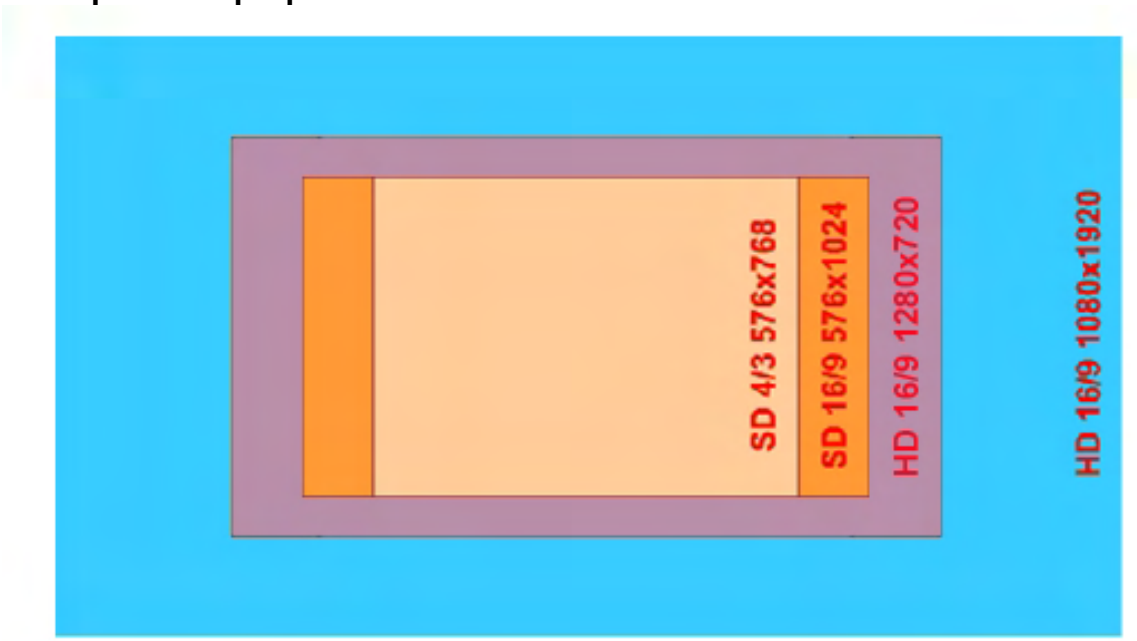
Les CCD IT, FT et FIT [13]



Les formats de lignes et d'échantillonnage actuellement utilisés en haute définition sont donc le 1920 x 1080 et le 1280 x 720, avec une exception pour le 1920 x 1440 en anamorphique. Les formats standard sont : 1024 x 576, 720 x 576, et 720 x 480. Le 1920 x 1080 correspond à une résolution proche du film : la définition de l'image est dite « 2K ». On considère qu'un négatif 35 mm admet 4000 points/ligne mais un positif de tirage admet moins de 2000 points/ligne, comparable à une image 2K. Les fréquences d'image de la haute définition sont à 60 Hz, 59,94 Hz, 50 Hz, 30 Hz, 29,97 Hz, 25 Hz, 24 Hz, 23,98 Hz.

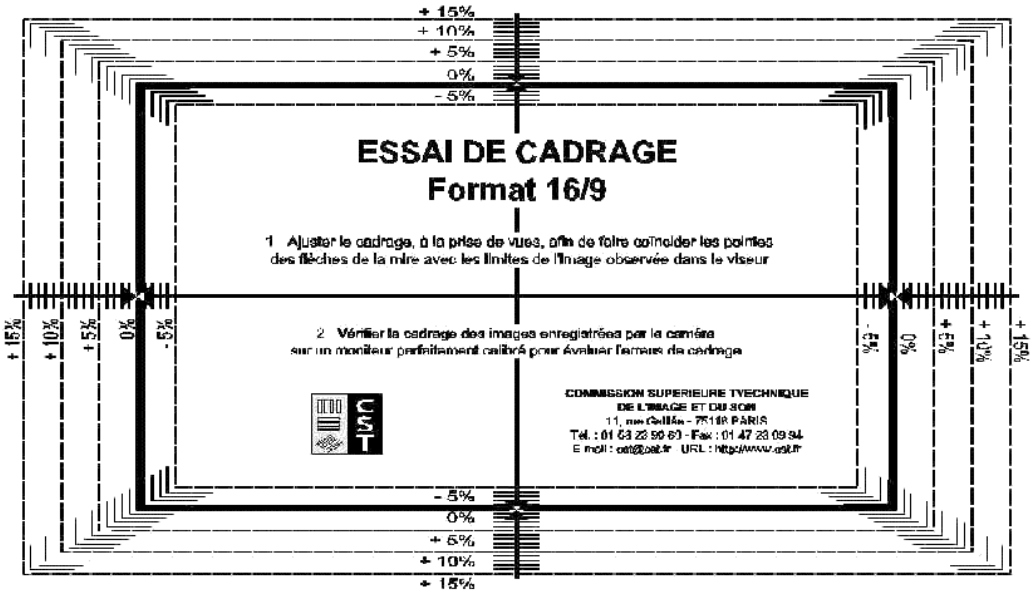
[13] Sonovision N°451, mai 2001.

Comparaison proportionnelle des formats HD avec les formats standards [14]



Un capteur haute définition a donc les mêmes dimensions que celui d'une Digital Betacam mais la taille des pixels est nettement réduite, surtout pour le format 1920 x 1080. Ceci a pour conséquence d'augmenter le rapport signal/bruit qui dépasse les 63 dB d'une DVW-790. Ce nouveau format de rapport 16/9 (ou 1,78) est déjà appliqué dans la prise de vues en 35mm et en Super 16mm pour une diffusion sans anamorphose des films en télévision SDTV ou HDTV. La hauteur nominale de l'image 35mm au format 16/9 (1,78 x 1) est de 11,78 mm. Les tolérances mentionnées dans les spécifications de la CST pour les dimensions des champs d'images projetées sont fixées à + 0 % et – 4 % de la dimension nominale dans chaque format.

Mire de cadrage au format 16/9 [15]


+ 15%
+ 10%
+ 5%
0%
- 5%
ESSAI DE CADRAGE
Format 16/9
1 Ajuster le cadrage, à la prise de vues, afin de faire coïncider les pointes des flèches de la mire avec les limites de l'image observée dans le viseur
2 Vérifier le cadrage des images enregistrées par la caméra sur un moniteur parfaitement calibré pour évaluer l'erreur de cadrage
COMMISSION SUPERIEURE TECHNIQUE
DE L'IMAGE ET DU SON
Tel. : 01 53 83 99 83 - Fax : 01 47 83 09 94
CST

[14] D'après un schéma Sony.
[15] Document de la Commission Supérieure Technique de l'image et du son (CST).

5. L'analyse du mouvement

Avec une caméra film, l'analyse du mouvement est liée à la cadence de prise de vues et à la durée d'exposition. Les cadences normales de 24 ou 25 images par seconde correspondent respectivement à des obturations de 1/48ème ou 1/50ème de seconde. Pour limiter le scintillement à la projection, chaque image est projetée deux fois par l'intermédiaire d'une double obturation de 1/96ème ou 1/100ème de seconde. Pour obtenir une restitution du mouvement comparable, à partir d'une source électronique, il faut utiliser un caméscope dont le balayage se fait en mode progressif, à 24 ou 25 images/s. Les fréquences normales de balayages sont alors de 48 ou 50 Hz, l'image étant décrite à chaque instant dans son intégralité, contrairement à la vidéo standard qui utilise deux trames entrelacées à 50 Hz décrivant chacune une ligne sur deux de l'image.

5.1. Les modes d'analyses

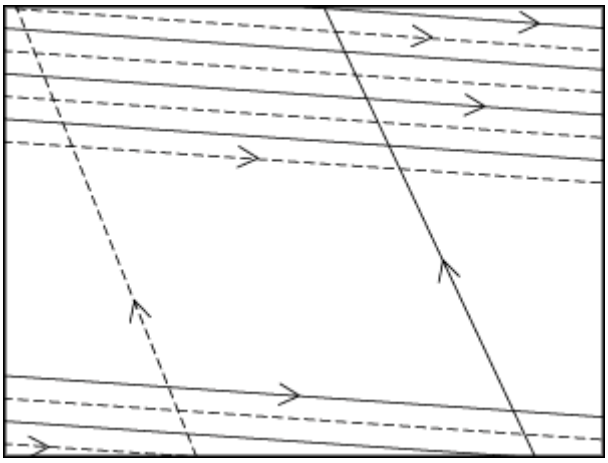
Depuis longtemps, chez les constructeurs de matériel vidéo, les ingénieurs réclament le passage à l'image progressive, se joignant ainsi aux systèmes d'affichages informatiques. Mais l'attachement du monde de la vidéo au système entrelacé faisait barrage à l'arrivée du progressif. « *La clé de cette évolution, c'est le numérique qui a permis le rapprochement entre la Vidéo et l'informatique. Ainsi lorsque les Etats-Unis ont dû définir les nouveaux standards de diffusion numérique qui vont remplacer le NTSC, ce n'est pas un ou deux formats qui ont été définis mais 18, comprenant une large gamme de résolutions et pour certains des modes progressifs ou entrelacés* »[16] déclarait Bernard Tichit lors d'une conférence tenue aux VIèmes Rencontres de la CST. Ces deux modes d'analyse sont dorénavant notés « p » pour progressif et « i » pour entrelacé. Ils se différencient essentiellement par leur principe d'analyse du mouvement : l'entrelacé permet une grande décomposition du mouvement au détriment de la définition verticale de l'image, le progressif permet d'éviter le désentrelacement lors d'un retour sur film et présente une grande définition verticale. Ainsi, la cadence dite « 25p » correspond à 25 images/s en mode progressif pour une fréquence d'analyse de 25 Hz et la cadence dite « 50i » correspond elle aussi à 25 images/s mais en mode entrelacé et pour une fréquence d'analyse de 50 Hz, ce qui est nettement supérieur. Les 24 et 25p sont destinés à la fiction alors que les 50i et 60i sont destinés à la TVHD. Mais étudions de plus près ces deux systèmes.

5.1.1. L'entrelacé

Depuis 1936, tous les standards de télévision « cathodique » utilisent le système entrelacé et ceci à différentes définitions : 405, 441, 729, 819, 1029, puis 625 et 525 lignes. Rappelons en quelques mots le principe de l'entrelacé. L'image est constituée de lignes analysées en deux trames, une pour les lignes impaires, l'autre pour les lignes paires. Ces deux demi-images proviennent donc d'instants différents. En standard Pal, cette opération est effectuée 50 fois/s pour produire 25 images. En standard NTSC, elle est effectuée 60 fois/s pour produire 30 images. Le choix d'un

[16] SINTAS Matthieu, *Les nouveaux formats vidéo : progressifs ou entrelacés ?*, Dossier Technique de la CST N°19, d'après la conférence de Bernard TICHIT (Thomson Broadcast Systems) lors des VI^{èmes} Rencontres de la CST, septembre 1999.

nombre impair de lignes permet un entrelacement simple : une trame commence son balayage en début de ligne, l'autre en milieu de ligne. Le but est d'économiser de la bande passante, en suivant la voie tracée par le cinéma avec seulement 24 images par seconde, chaque image étant projetée deux fois. Dans le cas du cinéma seule la résolution temporelle (l'analyse du mouvement) est réduite, car la résolution spatiale (la définition de l'image) est intacte.



Le principe de l'entrelacement : le but est d'économiser la moitié de la bande passante au prix de quelques défauts peu visibles sur un petit écran. Une première trame, représentée avec des traits pleins, analyse les lignes impaires la deuxième ; en pointillé, analyse les lignes paires.[17]

Avantages :

- L'analyse du mouvement est excellente, surtout dans les pays à 60 Hz (important pour le sport).
- Le système entrelacé n'occupe que 5 MHz de bande passante.

Inconvénients :

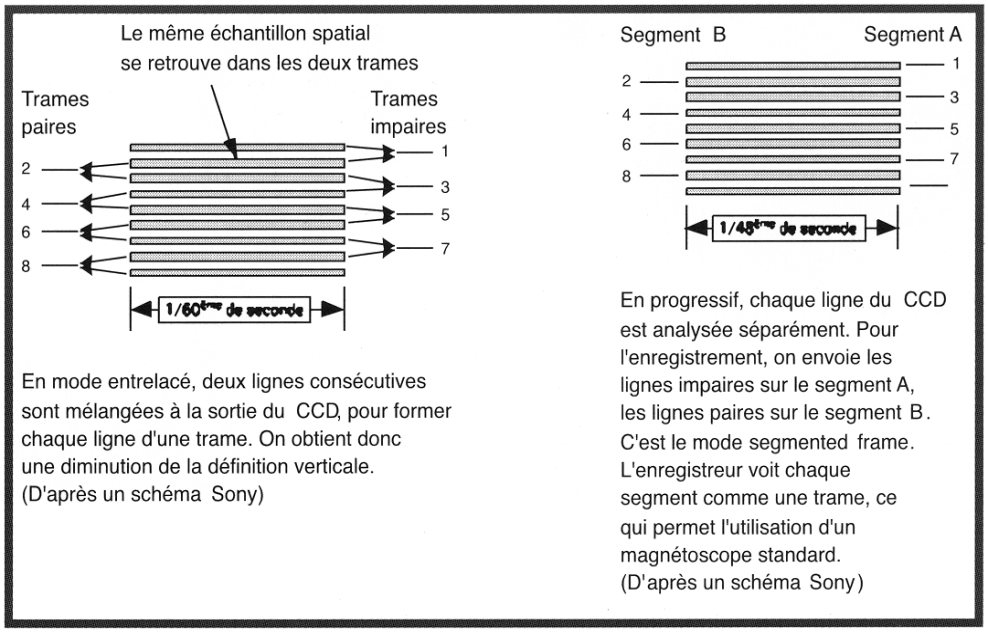
- La résolution verticale est réduite de moitié, puisque à un instant donné le système n'affiche qu'une trame et non une image complète. Le 625 lignes à 25 Hz est en fait du 312 lignes à 50 Hz !
- Le scintillement : la fréquence de 50 Hz est trop basse et produit du scintillement, notamment sur les surfaces blanches. Ce défaut existe aussi au cinéma mais la brillance des écrans est quatre fois plus faible. Pour résoudre ce problème, on utilise un téléviseur 100 Hz appliquant la même technique de double projection que le cinéma.
- Un détail présent sur une seule ligne n'est présenté qu'une trame sur deux, et est affecté d'un scintillement interligne extrêmement gênant.
- La réponse temporelle est bonne mais la moitié des lignes sont sur une trame et l'autre moitié sur la deuxième. Dans les traitements informatiques modernes utilisant la compression cela complique les calculs.
- Pour le retour sur film à l'aide d'un imageur, on peut soit utiliser une seule trame en effectuant une interpolation, soit appliquer un calcul de désentrelacement.

[17] SINTAS Matthieu, *Les nouveaux formats vidéo : progressifs ou entrelacés ?*, Dossier Technique de la CST N°19, d'après la conférence de Bernard TICHIT (Thomson Broadcast Systems) lors des VI^{èmes} Rencontres de la CST, septembre 1999.

5.1.2. Le progressif

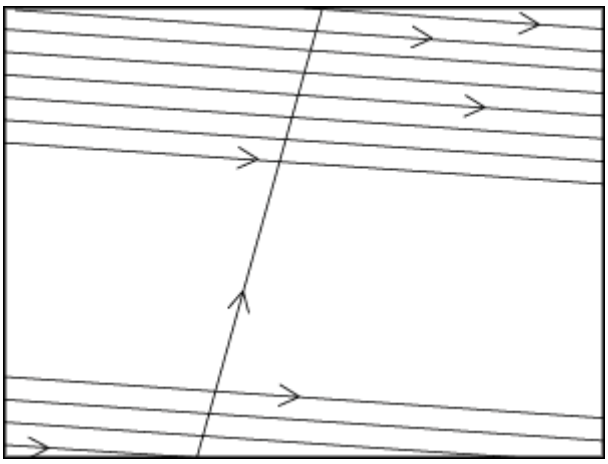
L’image n’est plus composée de deux trames entrelacées discontinues, mais est prise en compte à chaque instant dans son intégralité, à l’issue d’une analyse par balayage progressif. De ce fait, elle s'adapte plus facilement aux trucages numériques que l'image entrelacée et intéresse le cinéma, la photo numérique, le graphisme et l'infographie 3D. La grande astuce du progressif est le « segmented frame » (sF) : l’image est scindée en deux et peut ainsi être enregistrée et transmise sur les équipements conçus pour l'entrelacé. Ce concept permet donc d’éviter les investissements supplémentaires et la nature « p » ou « i » des images n’est plus qu’un paramètre gérable par un « software ». Mais il faut bien faire la distinction entre le procédé mis en œuvre à l’intérieur d’une caméra progressive et ce qui est enregistré ou transporté par la liaison HD-SDI. A la source, les images HD sont, soit progressives, soit entrelacées. L'image progressive est constituée d'une séquence de 1080 lignes alors que les images entrelacées sont constituées de deux trames de 540 lignes. Il ne s’agit ni de la même fréquence, ni de la même façon de construire le signal. Le concept est de reformater la vidéo progressive à 24 Hz et 1 080 lignes, en deux trames de 540 lignes (segment A et segment B), avec un retard inévitable. Ceci permet de rendre la décomposition temporelle de la vidéo progressive analogue à celle d’un signal entrelacé 50 Hz ou 60 Hz. Les deux moitiés d'image progressive sont appelées segments pour ne pas les confondre avec des trames, mais sont vues comme des trames par un « hardware ». Dans un caméscope 24 PsF à 1080 lignes, le capteur est progressif et acquiert 24 images/s, non-entrelacées. Ensuite, les lignes sont ordonnées, sans filtrage ni dégradation, en deux groupes, 540 lignes sur le segment A et 540 lignes sur le segment B, afin d'être acheminées sur un transport 48 Hz. Mais l'image comporte bien 1080 lignes prises au même instant. Pour la visualisation, un moniteur entrelacé fonctionne alors à 48 Hz. Sans le nommer ainsi, les cellules télécinéma réalisent déjà du « 25 PsF » en résolution 625 lignes. En effet, la trame 1 et la trame 2 que reçoit l’enregistreur proviennent bien du même photogramme, donc du même instant. Chaque image est capturée par le support progressif qu’est le film et est véhiculée par un transport entrelacé. Mais elle reste progressive pour toutes opérations qu'elle subit par la suite. Dans une caméra entrelacée équipée d'un capteur 1080 lignes, chaque trame est indépendante, c’est-à-dire que la trame 2 est captée $1/50^{ème}$ de seconde après la trame 1 et il faut effectuer un filtrage vertical pour éviter le défaut de flicker. Cette opération à pour inconvénient de réduire la définition verticale.

Principe du segmented frame (sF) [18]


Le même échantillon spatial
se retrouve dans les deux trames
Trames
paires
Trames
impaires
1
2
3
4
5
6
7
8
1/60ème de seconde
En mode entrelacé, deux lignes consécutives sont mélangées à la sortie du CCD, pour former chaque ligne d'une trame. On obtient donc une diminution de la définition verticale.
(D'après un schéma Sony)
Segment B
Segment A
1
2
3
4
5
6
7
8
1/48ème de seconde
En progressif, chaque ligne du CCD est analysée séparément. Pour l'enregistrement, on envoie les lignes impaires sur le segment A, les lignes paires sur le segment B. C'est le mode segmented frame. L'enregistreur voit chaque segment comme une trame, ce qui permet l'utilisation d'un magnétoscope standard.
(D'après un schéma Sony)

L'apparition du système progressif dans les équipements vidéo apporte donc de nombreux avantages tout en conservant la possibilité d'utiliser des liaisons et des équipements vidéo standards ou commutables. En effet, la simplicité du système permet de concevoir des caméras commutables en 1080/60i ou en 1080/24p utilisant le même capteur. Ces équipements commutables permettent de revenir au mode entrelacé lorsque l'analyse du mouvement est déterminante, pour le sport notamment. Mais il n'est pas possible de garder tous les avantages du progressif avec les équipements vidéo standards et, contrairement aux formats informatiques, il a fallu trouver un compromis sur la fréquence des images afin d'obtenir un signal qui n'occupe pas plus de bande passante que son équivalent entrelacé. Ainsi, la fréquence image est environ la moitié de la fréquence trame et l'effet stroboscopique qui en découle se rapproche de celui d'une caméra film. Mais le système progressif est aussi destiné à la fiction et son intérêt réside dans la facilité du retour sur film et les possibilités de conversion vers les standards de diffusion vidéo conventionnels. Il résulte de ces avantages et de ces contraintes que les bons choix pour les cadences images des formats progressifs sont 24 et 25 images/s comme en cinéma. Pour la diffusion sur film, les cadences de 24 et 25 images/s permettent un retour direct avec un minimum de calcul. Pour la diffusion en vidéo classique, le 25 images/s est facilement exploitable en 50 trames/s et le 24 images/s est convertible en 60 trames/s grâce à la technique du « 3/2 pull down » des télécinémas.

[18] BOSQUILLON Sophie et PIGEON Jacques, *La HD numérique et le 24p*, Dossier Technique de la CST N°26, juin 2000.



C'est le type d'analyse d'image universellement répandue en Informatique. En effet, après quelques essais infructueux avec des téléviseurs entrelacés, l'informatique a fait dès le départ le bon choix : le progressif. L'image progressive consiste à décrire toutes les lignes de l'image à chaque instant.[19]

Avantages :

- Le scintillement interligne n'existe plus.
- L'image est parfaitement stable, surtout avec des fréquences informatiques de 66, 75 ou 80 Hz...
- La résolution verticale n'est pas altérée par le mode d'analyse puisque à un instant donné le système affiche une image complète.

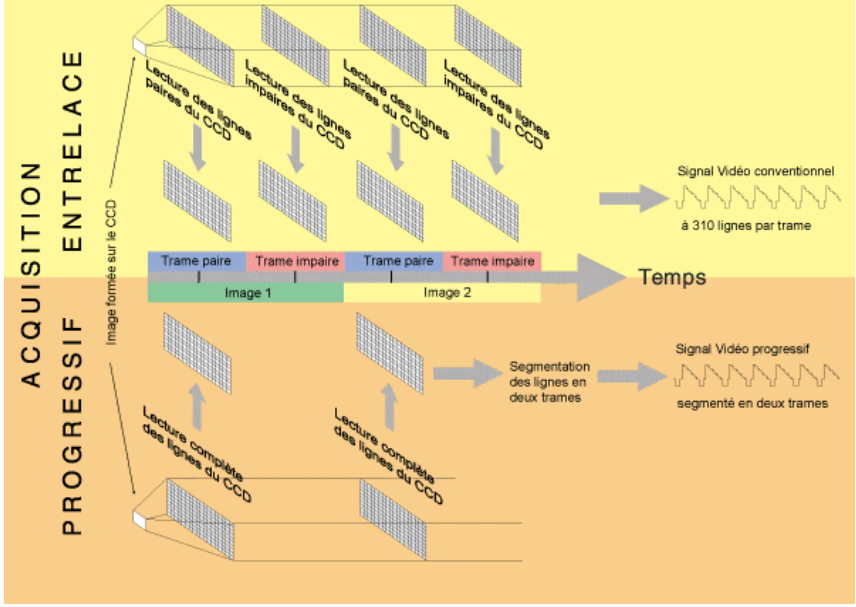
Inconvénients :

- La bande passante est très élevée. Dans le cas de l'informatique on ne diffuse pas le signal et un simple câble suffit pour relier l'unité centrale avec le moniteur. Avec les transmissions numériques compressées que l'on emploie aujourd'hui, la bande passante n'est plus vraiment un obstacle car l'utilisation de la redondance (CRC) donne au signal progressif un débit à peine supérieur à l'entrelacé.
- La stroboscopie: la fréquence de 48 Hz est trop basse et produit un effet de stroboscopie, visible sur les moniteurs.

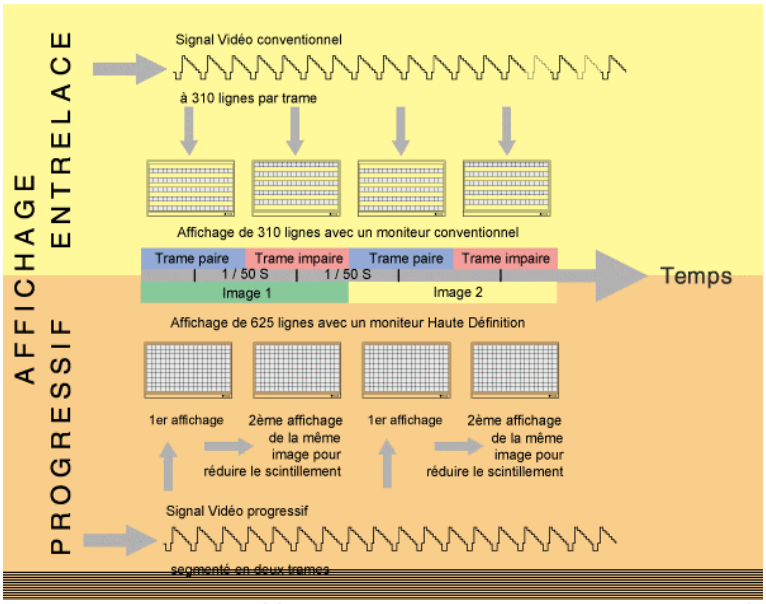
La HDcam de Sony fut le premier caméscope haute définition à permettre une captation en mode progressif à différentes cadences et notamment celle du film, d'où la dénomination « 24p » (24 images/s progressif). Elle permet aussi l'enregistrement en mode entrelacé, 50i et 60i. Par contre, les deux caméscopes développés par Panasonic possèdent soit l'une soit l'autre de ces deux caractéristiques : le AJ-HDC20 fonctionne en 1080/50i avec un capteur CCD FIT de 2,2 millions de pixels et un signal quantifié sur 10 Bit A/D et 16 Bit DSP, le AJ-HDC27 fonctionne en 720/60p avec un capteur CCD IT de 1 million de pixels. Grâce à ces équipements commutables le mode d'analyse des images devient un choix accessible à l'opérateur de prise de vues comme la compression des blancs ou la correction de contour. Ce choix dépend du type d'image tournée : fiction, sport, documentaire... et de la diffusion choisie, retour sur film pour des effets spéciaux ou diffusion télévisuelle.

[19] SINTAS Matthieu, *Les nouveaux formats vidéo : progressifs ou entrelacés ?*, Dossier Technique de la CST N°19, d'après la conférence de Bernard TICHIT (Thomson Broadcast Systems) lors des VI[èmes] Rencontres de la CST, septembre 1999.

Acquisition et affichage progressif / entrelacé [20]



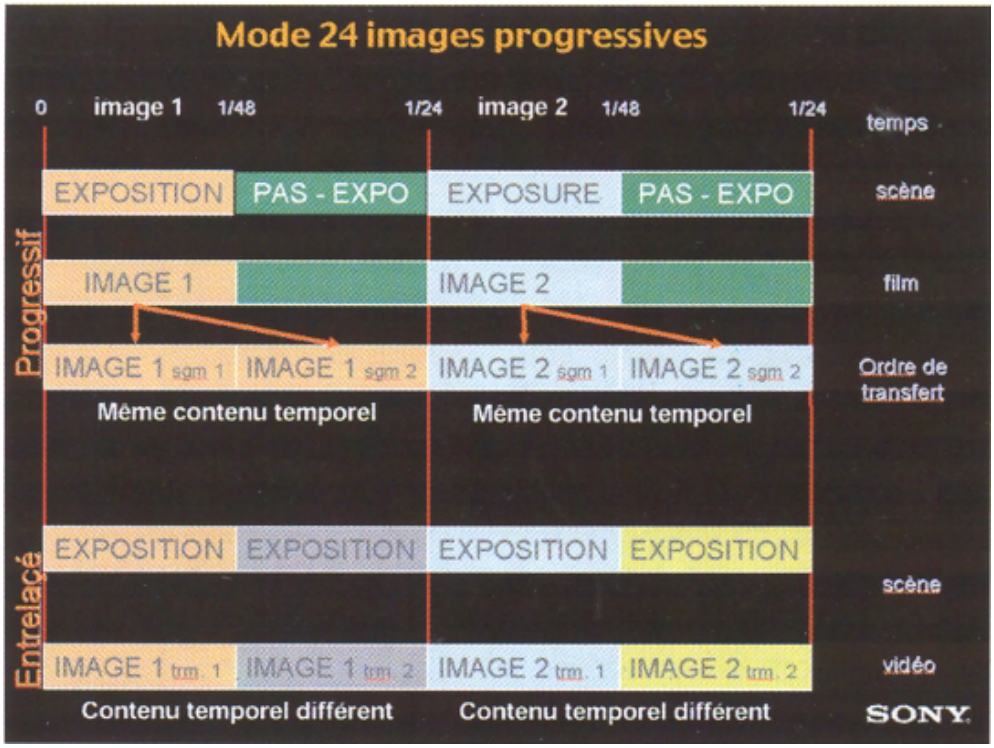
Représentation très schématique d'une acquisition comparée progressive à 25 images/s et entrelacée à 50 trames/s. Le principe général consiste à décrire chaque image complètement mais à une fréquence deux fois plus faible que la fréquence trame du format vidéo correspondant. La quantité d'information à transmettre reste globalement identique et une mise en forme ad hoc du signal, avec deux "pseudo trames" permet d'utiliser tous les équipements vidéo standards.



L'affichage d'un signal entrelacé à 50 trames/s avec un moniteur standard comparé avec l'affichage d'un signal progressif à 25 images/s qui nécessite un moniteur haut définition. Une interface double la cadence image et réduit le scintillement qui serait insupportable à 25 Hz. Le passage au mode progressif double donc la résolution verticale de l'image. Et si on branche le signal progressif sur le moniteur standard ? L'image s'affiche normalement avec les inconvénients des deux systèmes. La résolution verticale redescend à 310 lignes (totales) et l'effet stroboscopique du progressif est conservé, comme dans une image issue d'un télécinéma[21]

[20] SINTAS Matthieu, *Les nouveaux formats vidéo : progressifs ou entrelacés ?*, Dossier Technique de la CST N°19, d'après la conférence de Bernard TICHIT (Thomson Broadcast Systems) lors des VI[èmes] Rencontres de la CST, septembre 1999.
[21] SINTAS Matthieu, *Les nouveaux formats vidéo : progressifs ou entrelacés ?*, Dossier Technique de la CST N°19, d'après la conférence de Bernard TICHIT (Thomson Broadcast Systems) lors des VI[èmes] Rencontres de la CST, septembre 1999.

Schéma synoptique progressif / entrelacé [22]



Le 24p permet la convergence entre le film et la télévision, car les conversions se font sans aucune perte. Le « segmented frame » assure la compatibilité et permet aussi la visualisation en 48 Hz sur un téléviseur quasi standard, même si ce n'est pas parfait. Le format HDcam, qui n'est qu'une variante 1080/60i du Digital Betacam 525/60i, apporte une solution bon marché en proposant un magnétoscope de studio et surtout un caméscope léger et compact. Les utilisateurs du 24p profitent des développements faits sur le 60i pour la TVHD américaine. Lors d'une conférence donnée en 1998 à la SMPTE, Larry Thorpe a exposé la stratégie de Sony dans le domaine du cinéma numérique. Il décrit le monde de technologie qui est le nôtre par les composantes suivantes : les standards, les créatifs, les artistes et la technologie. Les ingénieurs définissent d'abord les standards, puis, les industriels conçoivent des matériels qui correspondent aux standards, et enfin, les créatifs s'en servent. « *Quelque 1440 pixels en luminance c'est probablement suffisant, 480 pixels en chrominance, c'est peu et cela risque d'être insuffisant dans le cas d'effets spéciaux sophistiqués* », commente Bernard Tichit. « *Le 24p est immédiatement commercialisable car il se moule dans le 60i de la télévision HD. Mais, c'est le 1080 à 60 images/s en progressif qui sera la vraie image du futur en 2002 ou 2003* »[23], conclue Larry Thorpe.

[22] Sonovision N°451, mai 2001.
[23] BOSQUILLON Sophie et PIGEON Jacques, *La HD numérique et le 24p*, Dossier Technique de la CST N°26, juin 2000.

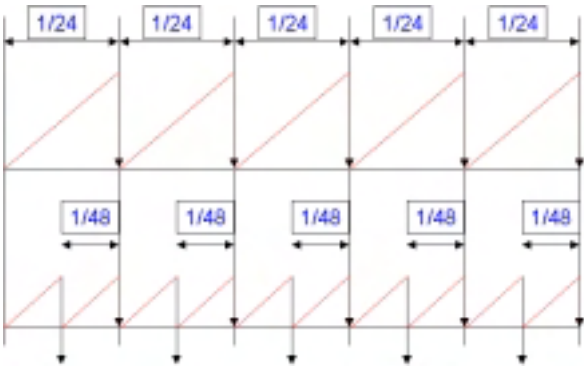
5.2. Les cadences de prise de vues et les fréquences image

Une autre grande innovation des systèmes numériques haute définition est le multistandard, c'est-à-dire la possibilité de choisir un standard d'exploitation parmi les différentes normes mondiales. L'enregistrement est actuellement possible dans toutes les cadences standards de prise de vue cinéma et vidéo pour l'Europe et les Etats-Unis :

- 12, 15, 20, 23,976, 24, 25, 29,97 et 30 images/s en progressif.
- 50, 59,94 et 60 images/s en entrelacé.

Ces cadences n'ont rien de commun avec celles du film. Il s'agit en fait de fréquences image et il est encore impossible de créer des ralentis et des accélérés directement à la prise de vues, sauf à tourner en 30p et relire en 24p pour obtenir un léger ralenti, ce qui n'est pas conseillé pour le magnétoscope. Pour obtenir de tels effets, il faudra nécessairement avoir recours à un logiciel tel que Retimer conçu par Real Viz, qui duplique ou interpole les trames intermédiaires pour obtenir un ralenti ou qui supprime certaines images pour obtenir un accéléré. Les 50p, 59,94p et 60p sont en fait l'objectif ultime des cadences de la HD. En mode 24p, l'obturateur électronique ou « shutter » crée une durée d'exposition de 1/48ème de seconde, soit une fréquence image de 48 Hz, pour reproduire exactement l'obturation d'une caméra film, ce qui provoque un effet de papillotement caractéristique du film, et même souvent plus prononcé. Dans cette même cadence, il permet également une exposition plus longue, pendant 1/24ème de seconde, ce qui produit un flou de bougé ou « motion blur » caractéristique de la vidéo. La position 1/32ème de seconde donne un flou intermédiaire. Pour les autres modes progressifs et entrelacés, le shutter permet des durées d'exposition au 1/96ème, 1/125ème, 1/250ème, 1/500ème et 1/1000ème. Par ailleurs, l'ECS ou « Electronic Clear Scan » permet la synchronisation sur un moniteur vidéo ou informatique pour des fréquences comprises entre 24,3 et 2300 Hz. Cependant, si le 24p permet un enregistrement et une restitution du mouvement similaire à une caméra film, soit 24 images par seconde, on peut se demander si cette quantité d'image, ou en tout cas la fréquence de 48 Hz, est suffisante pour l'œil. En effet, le choix de cette cadence serait plutôt une régression qu'une évolution puisqu'il engendre des défauts de perception liés à l'optique physiologique et au mécanisme intermittent des caméras film : flicker, papillotement et stroboscopie.

Durées d'exposition du shutter [24]



[24] Schéma Sony.

L'œil ayant une réponse temporelle qui dépend de la brillance du sujet, le 1/48ème de seconde est tout à fait supportable en film, d'autant plus qu'en projection la double obturation élève la période à 1/96ème de seconde et que l'écran de projection présente un coefficient de réflexion nettement moins important (40 Cd/m^2) qu'un écran de télévision (300 Cd/m^2). En effet, la forte luminosité d'un moniteur vidéo rend le 48 Hz insuffisant, car le phénomène de papillotement est très gênant. En fait, l'œil suit involontairement le phénomène intermédiaire de l'image répétée deux fois et perçoit une trépidation du fond, appelé « judder » en anglais. Ce défaut de conception du cinéma est présent depuis si longtemps qu'il est devenu une caractéristique fondamentale du film et participe à la notion du fameux « film look ». Pour réduire le « judder », on tourne avec une faible profondeur de champ, de façon à ce que le sujet en mouvement soit net mais se déplace sur un fond flou, et on respecte la règle des « 7 secondes » qui consiste à éviter qu'un objet ne traverse le cadre en moins de 7 secondes. Les techniciens du cinéma ont intégré ces principes par expérience. De la même manière, le 24 Hz est inadéquat pour une restitution du mouvement réaliste. Le Showscan, avec son défilement à 60 images/s a démontré que la solution était d'augmenter la fréquence image. Ce qui explique que le choix du 60p est l'orientation qui est prise pour l'avenir de la haute définition. John Watkinson, un technologue anglais ayant publié un article intitulé : Pourquoi avons-nous besoin de plus d'images par seconde et pas moins ?, repris dans un dossier technique de la CST, affirme que : « *Pour déterminer la fréquence image permettant une reproduction réaliste des mouvements, que ce soit pour le film, la vidéo ou un écran d'ordinateur, il n'y a qu'un seul critère. (...) Le niveau d'artefact, de défaut visible, doit se situer en-dessous de la visibilité de notre système visuel. C'est vraiment fondamental.* »[25]. En effet, on sait que la télévision en Europe n'affiche pas 25 images/s de 625 lignes chacune, mais plutôt 50 images de 312,5 lignes. La définition temporelle horizontale est privilégiée par rapport à la définition spatiale verticale. Cela est d'une grande utilité pour les mouvements rapides, comme c'est le cas pour le sport. Le standard 24 images/s a été créé à l'arrivée du cinéma sonore. En télévision, le choix s'est fait un peu avant guerre pour les Américains et un peu après pour l'Europe. Dans tous ces systèmes, des progrès très importants ont été réalisés en résolution statique, linéarité et colorimétrie. Mais il semble que l'on ait complètement oublié la restitution du mouvement. Or, le système visuel humain est ainsi fait que si un élément bouge dans une image, l'œil va suivre ce mouvement, et ne percevoir le reste de l'image que dans un second temps. En conséquence, le cadrage de l'écran vu par l'œil n'est pas constant. John Watkinson définit un axe optique de perception qui se déplace avec l'objet. L'œil suit l'objet en mouvement, ce qui implique que le reste de l'image est présenté à la rétine avec des positions différentes à chaque image. C'est pourquoi, explique John Watkinson, le critère pour choisir une fréquence image suffisante est un système qui doit permettre l'affichage de ce fond sans qu'il soit gênant pour le spectateur, et non pas le flicker. C'est la fréquence critique du fond qui est la vraie cause d'un visionnement désagréable.

[25] BOSQUILLON Sophie et PIGEON Jacques, *La HD numérique et le 24p*, Dossier Technique de la CST N°26, juin 2000.

6. Le traitement du signal

La qualité du film, ce que certains appellent le « film look » ou le « rendu film », est ce qui distingue les images argentiques des images électroniques. Cela vient de la façon dont le film capture les images. Le film possède une surface sensible constituée de capteurs répartis aléatoirement à l'intérieur de l'émulsion : les cristaux d'halogénure d'argent. Ceux-ci sont exposés à la lumière et réagissent avec le révélateur pour former de l'argent métallique. Ce développement est l'équivalent d'une amplification du signal. Quelques photons capturés par un cristal sont transformés en millions d'atomes d'argent métal. Le processus continu, ajoutant un certain nombre de facteurs. Les colorants réels stockent et reproduisent les formes de la scène, ses couleurs et sa luminance. La science qui mesure la manière dont les émulsions photographiques répondent à l'exposition et au traitement s'appelle la sensitométrie. Selon la définition donnée par Françoise Duclos de Kodak : « *La sensitométrie est dans son sens le plus large, la science qui étudie les effets de la lumination et du développement sur les émulsions photographiques.* »[26]. Une courbe sensitométrique trace la variation de densité (logarithme de l'opacité) de la couche photosensible en fonction de la lumination en lux/seconde (produit de l'éclairement reçu par la durée de l'exposition). L'utilisation d'une échelle logarithmique permet de mieux représenter l'importance relative des basses et hautes expositions. Pour répondre aux caractéristiques sensitométriques du film, les principales étapes de traitement du signal dans les caméras haute définition numériques professionnelles sont les suivantes :

- Le PRE-KNEE : Pré-compression des blancs, qui réduit la dynamique du signal de 600% à 400% et contrôle le gain de la caméra.
- La CONVERSION ANALOGIQUE / NUMERIQUE sur 12 bits.
- La CORRECTION DES TEINTES CHAIRS « SKIN » : Deux teintes préalablement mémorisées, le plus souvent des teintes chairs, sont détectées par ce circuit pour une correction de contour spécifique.
- Le KNEE : Compression des blancs paramétrable, en fonction des conditions de tournage, pour permettre une restitution plus ou moins importante des sur-blancs.
- Le MATRICAGE ou MASKING : Ce circuit assure la conversion entre l'espace colorimétrique d'analyse de la caméra, les filtres rouge, vert et bleu placés devant les CCD, et les primaires normalisées de la vidéo. Bien que cette conversion soit normalisée, il est avantageux de pouvoir effectuer un réglage personnalisé, soit pour équilibrer parfaitement des caméras entre elles, soit pour des raisons esthétiques. Les réglages numériques permettent un retour rapide à des valeurs normalisées.
- Le GAMMA : Pré-correction du signal vidéo avec une fonction de puissance normalisée, inverse de la caractéristique des tubes cathodiques.
- La CORRECTION DE PIXEL : Ce circuit analyse le niveau de chaque pixel par rapport à ses voisins et effectue une comparaison avec les deux autres voies. Si une différence supérieure à un certain seuil est mesurée, le pixel est considéré comme défectueux. Le circuit calcule alors une valeur moyenne et effectue le remplacement en temps réel.
- Le CONVERSION NUMERIQUE / ANALOGIQUE de sortie.

[26] DUCLOS Françoise (Kodak), *Rappel sur la colorimétrie des films*, Dossier Technique de la CST N°21, avec l'aide des supports de cours du CEFOM Kodak du CTP Ciné Chalons s/Saône et de Michel BAPTISTE (CST), novembre 1999.

6.1. La sensibilité

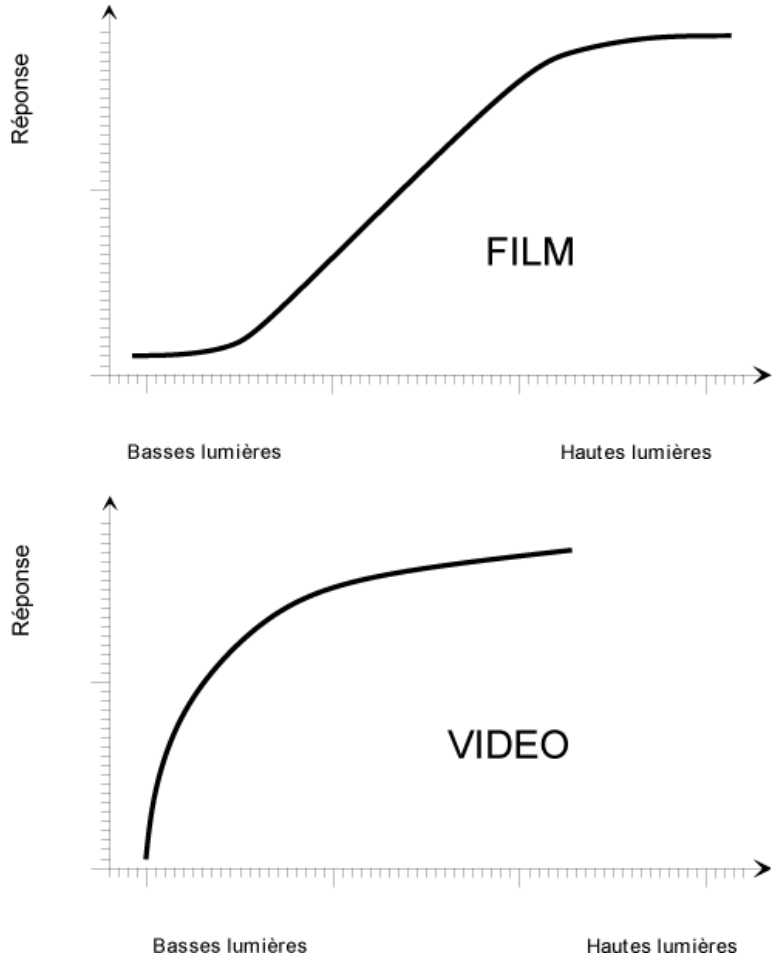
« *La sensibilité d'un CCD est déterminée par l'efficacité avec laquelle la lumière incidente est convertie en charges électriques et par la quantité de bruit ou de signaux parasites présents en sortie. Par analogie, elle est exprimée en ISO, comme celle d'un film. Mais il faut garder à l'esprit qu'il ne s'agit que d'une analogie.* »[27]. Comme je l'ai précisé plus haut, la sensibilité de la Cinealta de Sony est de F10 à 2000 lux, soit environ 640 ISO. Mais il est extrêmement difficile de déterminer avec précision la sensibilité exacte d'une caméra numérique de ce genre. En effet, les possibilités d'intervention sur la courbe de réponse du système, essentiellement le niveau de noir, le niveau de blanc et le contraste, ont des répercutions sur la sensibilité apparente du système. La répartition des coefficients dans les niveaux de quantification influe sur la sensibilité de la caméra. Comme le précise Guy Louis Mier : « *L'exposition semble plus proche de l'inversible que du négatif : la saturation fait disparaître les informations (…) et il faut éviter les surexpositions. Travailler en légère sous-exposition est d'autant moins gênant qu'il est possible de modifier le gamma à la prise de vues, voire de récupérer nombre d'informations dans le pied de courbe.* »[28]. Par contre, comme sur toute caméra vidéo, la fonction « gain » modifie électroniquement la sensibilité de –3 dB à +18 dB, au détriment du rapport signal / bruit. Tommaso Vergallo, directeur des productions Duboicolor, précise à ce sujet : « *il y a une différence entre + 3 dB en HD et + 3 dB en Betacam numérique (…) pour le retour sur film. L'augmentation artificielle de la luminosité (…) grisaille l'image (…), augmente le souffle (…), alors qu'en Hdcam, l'état de fourmillement de l'image est vraiment extrêmement minime comparé à la Betacam numérique* »[29].

6.2. Le contraste ou gamma

Les confusions sont fréquentes entre le gamma du film, celui de la vidéo, qui n'a de commun avec le premier que le nom, et la sensibilité de l'œil, qui est constante en pourcentage, c'est à dire, en absolu, beaucoup plus grande dans les basses lumières. La courbe caractéristique sensitométrique « Densité = log Lumination » du film négatif est représentée sous une forme générique par la figure ci-dessous. La pente de la partie rectiligne de la courbe, limitée par le « pied de courbe » et « l'épaule » est appelée gamma. La partie linéaire de la courbe présente une amplitude d'au moins 5 diaphragmes auxquels il faut ajouter la compression des hautes et basses lumières assurées par le pied et l'épaule de la courbe. Ces caractéristiques confèrent au film négatif une latitude d'environ 7 diaphragmes dans la restitution de la gamme de luminance. Pour approcher cette qualité d'analyse, les caméras haute définition utilisent une conversion analogique/numérique sur 12 bits et les circuits de traitement numérique permettent d'ajuster leur fonction de transfert sur une importante gamme de contraste.

[27] BERNARD Hervé, L'image numérique et le cinéma - Un pont entre l'argentique et le numérique, Eyrolles, 2000.
[28] Mier Guy Louis, *L'avenir en 0 et en 1,* Le Technicien Film & Vidéo N°498, mars / avril 2000.
[29] Conférences du « *Festival CineAlta* » (Sony France), 11 et 12 octobre 2000.

Courbes caractéristiques du film et de la vidéo [30]



Il existe plusieurs façons de transcrire numériquement (ou électroniquement) des niveaux de lumière. Bien avant l'arrivée du numérique, la vidéo utilisait déjà une pré-compensation du signal sous la forme d'une fonction de puissance. « *En télévision, le gamma désigne la fonction de transfert qui régit la relation entre la luminance d'une scène filmée (ou d'une image sur un écran) et le niveau du signal vidéo correspondant. Il ne faut pas confondre ce gamma avec celui du film photochimique, qui correspond à la pente de la partie rectiligne de la courbe sensitométrique du film.* »[31]. Cette fonction, qui n'est pas linéaire, a pour but de compenser la réponse des systèmes d'affichage par Tube à Rayons Cathodiques (TRC). C'est la solution qui a été adopté dans les années 30 pour agir sur le contraste des TRC, élément de base des récepteurs de télévision. Elle amplifie les signaux de faible amplitude dès la caméra et assure une très bonne protection contre le bruit des circuits électroniques. Après un bref rappel sur les caractéristiques du tube cathodique, je m'intéresserai à la correction de gamma des caméras vidéo modernes.

Il existe deux sortes de TRC : les tubes cathodiques à concentration électrostatique et déflexion électromagnétique et les canons à électrons modernes

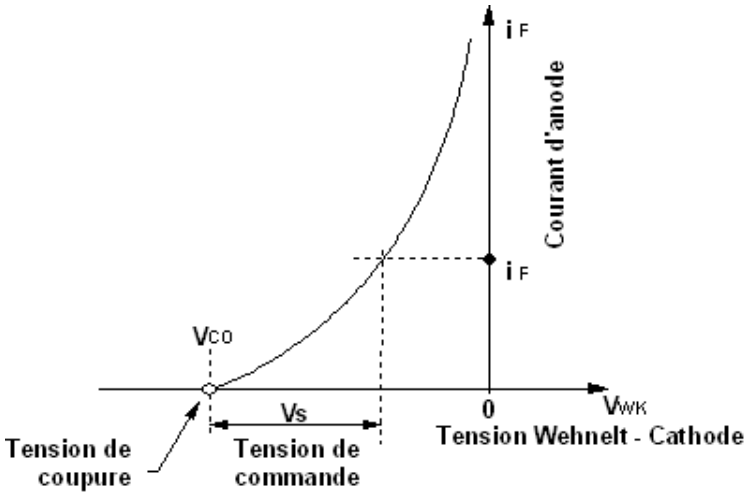
[30] DUCLOS Françoise (Kodak), *Rappel sur la colorimétrie des films*, Dossier Technique de la CST N°21, avec l'aide des supports de cours du CEFOM Kodak du CTP Ciné Chalons s/Saône et de Michel BAPTISTE (CST), novembre 1999.
[31] SINTAS Matthieu, *Le gamma en vidéo*, Dossier Technique de la CST N°1, novembre 1997.

de type pentode. Les triplets de luminophores rouge, vert et bleu tapissant la face arrière de l'écran ont une réponse linéaire, c'est donc le canon électronique qui caractérise le TRC par une fonction de puissance du type : $I_F = Av^{\gamma}$ [32]

I_F : intensité du faisceau
v : tension de signal
γ : gamma
A : constante

Le gamma, compris entre 2 et 3, est constant et dépend des paramètres physiques du tube. Rappelons que le gamma est différent si l'on travaille en HD ou en SD, de même qu'il diffère si l'on œuvre sur des moniteurs informatiques ou vidéo, ou encore sur des vidéoprojecteurs DLP ou ILA.

Fonction de transfert du TRC [33]



La compensation de la fonction de transfert du tube se fait par une pré-correction du signal à l'intérieur de la caméra. Cette pré-correction est l'inverse de celle du tube, de manière à obtenir une restitution cohérente du contraste de l'image. Le TRC ayant une fonction du type $Y = kE^{\gamma}$ [34], la pré-correction est du type $E' = E^{1/\gamma}$ [35].

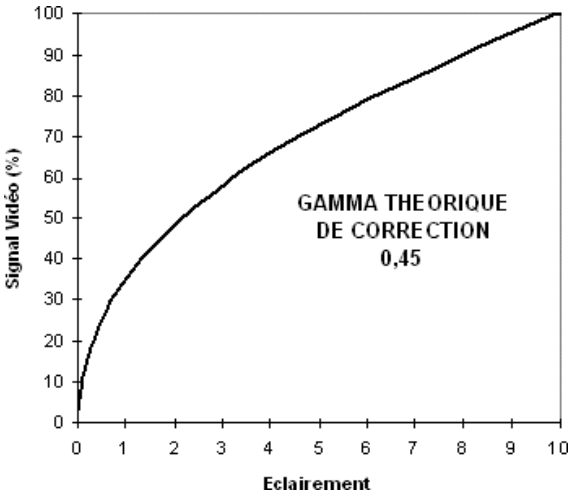
Dans le cas d'une prise de vues HD ou d'images films numérisées avec un scanner, il est possible de choisir d'appliquer une pré-correction ou de rester dans le domaine linéaire. Cette question est beaucoup plus complexe qu'il ne semble, car elle conditionne l'ensemble de la chaîne numérique. Chaque cellule ou site photosensible, du CCD, qu'il soit en matrice ou en barrette, fournit un courant électrique qui est proportionnel au nombre de photons qui atteignent la cellule. On a l'équation suivante : 1 photon incident d'énergie suffisante = 1 électron arraché et accumulé. Le signal de départ, avant toute manipulation, est donc bien linéaire et il représente fidèlement le flux lumineux qui est le nombre de photons passant par une unité de surface en une unité de temps. Il peut être avantageux d'appliquer une pré-correction lorsque le nombre de valeurs numériques disponibles paraît trop faible, en 8 ou 10 bits par exemple, pour capter l'ensemble des nuances du sujet. La répartition d'un plus grand nombre de valeurs dans les basses lumières permet de

[32] SINTAS Matthieu, *Le gamma en vidéo*, Dossier Technique de la CST N°1, novembre 1997.
[33] SINTAS Matthieu, *Le gamma en vidéo*, Dossier Technique de la CST N°1, novembre 1997.
[34] SINTAS Matthieu, *Le gamma en vidéo*, Dossier Technique de la CST N°1, novembre 1997.
[35] SINTAS Matthieu, *Le gamma en vidéo*, Dossier Technique de la CST N°1, novembre 1997.

retrouver une cohérence avec la perception visuelle. Dans ce cas, il s'agit d'un premier calcul sur les images, effectué généralement dans le caméscope ou le scanner même. Si on doit insérer des objets infographiques dans les images réelles, il faut savoir qu'ils sont toujours calculés de manière linéaire.

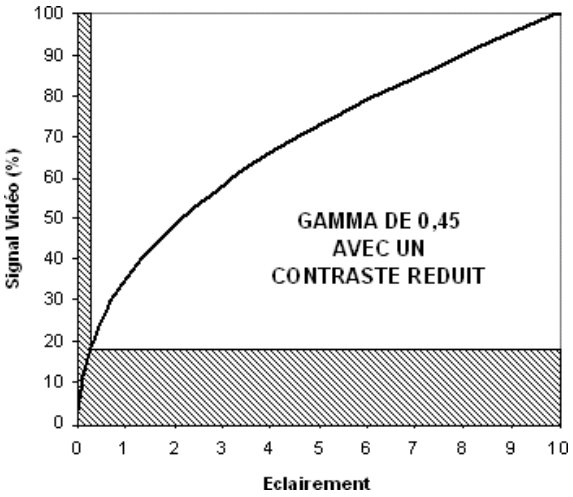
La courbe de transfert théorique des caméras vidéo a un gamma fixe de 0,45 mais, les caméras haute définition permettent de le modifier en 0,40, 0,45 et 0,50 et de régler de façon autonome le « MASTER BLACK GAMMA » ou contraste des noirs. Ainsi, la HDW-F900 possède 6 différents types de courbes de gamma, appelées « GAMMA TABLE », dont la pente ou « COARSE » peut être réglée à 0,40, 0,45 et 0,50.

Gamma théorique de correction 0,45 [36]



Pour réduire le contraste, on applique une correction quasi-logarithmique qui amplifie les bas niveaux tout en évitant l'amplification du bruit de fond. Mais cette courbe est théorique car sa la pente à l'origine est infinie. La correction serait donc instable et difficilement reproductible d'une caméra à l'autre.

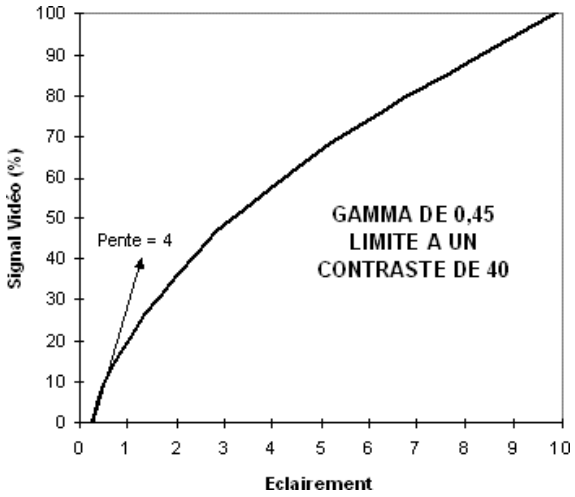
Gamma de 0,45 avec un contraste réduit [37]



[36] SINTAS Matthieu, *Le gamma en vidéo*, Dossier Technique de la CST N°1, novembre 1997.
[37] SINTAS Matthieu, *Le gamma en vidéo*, Dossier Technique de la CST N°1, novembre 1997.

On a donc estimé que le contraste du moniteur était de 40, ce qui équivaut à ignorer les premiers 2,5% de la courbe de correction des caméras qui, de toute façon, sont masqués par la lumière ambiante autour du moniteur. Normalisée dans les années 60, la courbe de correction de gamma présente donc une pente à l'origine de 4 au lieu de l'infini.

Gamma de 0,45 limité à un contraste de 40 [38]

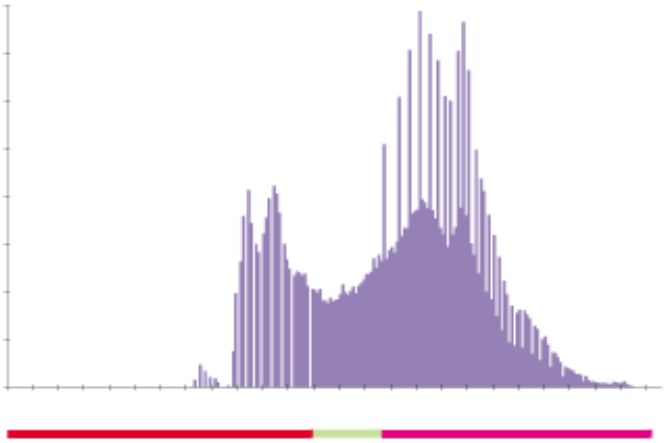


La constitution d'un histogramme peut servir à représenter l'image avant et après une correction de gamma de 0,45 qui laisse plus d'énergie dans les hautes lumières :

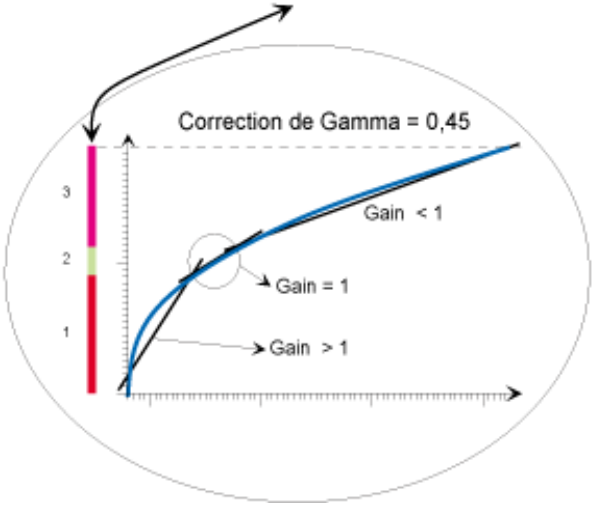
- La première zone, qui correspond aux basses lumières, a une fonction de gain supérieur à 1. La courbe de l'histogramme se trouve dilatée et des trous apparaissent. Un dégradé continu dans cette partie de l'image n'est pas restitué par une succession régulière des valeurs numériques.
- La deuxième zone, a une fonction presque linéaire, avec un gain d'environ 1, les valeurs sont simplement décalées. La courbe de l'histogramme ne présente aucune distorsion.
- La troisième zone, les hautes lumières, a une fonction de gain inférieur à 1, et toutes les valeurs de l'image de départ sont concentrées sur un nombre de bits plus petit. Le jeu des arrondis concentre le regroupement sur des valeurs préférentielles, d'où l'apparition de pics dans l'histogramme. Là encore, un dégradé régulier dans l'image n'est pas restitué par une succession régulière des valeurs numériques.

[38] SINTAS Matthieu, *Le gamma en vidéo*, Dossier Technique de la CST N°1, novembre 1997.

L'histogramme [39]



Histogramme



Traitement du Gamma dans une caméra [40]

[39] HELT François et SINTAS Matthieu, *Les mesures sur les images numériques : l'histogramme*, Dossier Technique de la CST N°16, avril 1999.
[40] D'après un schéma Sony.

Cette démonstration prouve que la pré-correction du signal n'est pas une opération transparente. Très utile dans certains cas, comme en vidéo numérique, elle doit être utilisée avec précautions.

6.3. La dynamique

En film, l'écart ou le rapport de la densité maximale du blanc sur la densité maximale du noir exprime la dynamique de l'image. Pour étendre ses possibilités de capturer des différences de niveaux très faibles, le film emploie des couches multiples avec différentes tailles de cristaux d'halogénure d'argent. C'est comme si on utilisait trois capteurs dans des gammes différentes qui se recouvrent parfaitement. Le résultat est que le film a une très large latitude d'exposition. Il peut capturer simultanément les plus hautes lumières et les ombres les plus profondes. Et, tant dans les ombres que dans les hautes lumières, le film peut reproduire les variations de teintes les plus subtiles. Avec les films actuels à grande latitude d'exposition et des négatifs normalement exposés, peu d'informations importantes d'une image seront exposées sur l'épaule. Au contraire, la plupart des zones blanches de la scène seront enregistrées sur la partie rectiligne de la courbe, ce qui explique pourquoi les films actuels sont si performants pour l'enregistrement des hautes lumières.

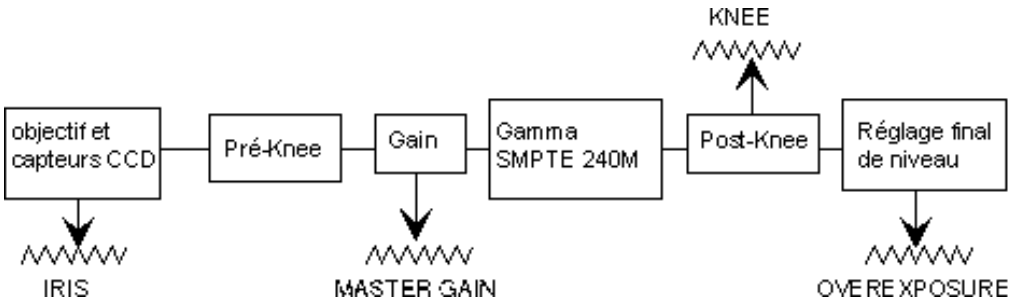
En vidéo, la dynamique se définit par le rapport entre le niveau de blanc et le niveau de noir. « *Les caméras CCD modernes restituent une dynamique d'environ 600% du signal vidéo. Pour utiliser cette dynamique il faut compresser la partie haute du signal, c'est-à-dire les hautes lumières. Cette compression a longtemps été effectuée par des circuits analogiques, qui malgré leurs dérives, offraient une dynamique supérieure au traitement numérique tant que celui-ci était limité à 10 bits.* »[41]. Aujourd'hui, grâce aux nouveaux convertisseurs analogique / numérique, il est donc possible d'exploiter toute la dynamique des CCD, avec comme avantages le réglage des circuits numériques, leur stabilité et la possibilité de retour à des valeurs mémorisées ou standards. Pour s'approcher d'une gamme dynamique proche de celle du film, le traitement du signal dans une tête caméra vidéo numérique se fait sur 12 ou 14 bits. Mais le manque de dynamique reste l'inconvénient majeur de la vidéo numérique, même si la haute définition présente une amélioration notable sur ce point. « *C'est très riche en basses lumières, beaucoup moins en hautes lumières, et l'ensemble n'encaisse pas grand chose. Après post production numérique ou après retour sur film on peut retrouver artificiellement une dynamique (…). C'est 4 à 5 diaphs d'écart de contraste maximum, après il n'y a plus rien en bas ou en haut. Par rapport à du Betacam, c'est très riche en pied de courbe.* »[42], déclare Pitof.

Le système vidéo, tel que je l'ai décrit dans la partie concernant le gamma ne permet qu'une reproduction de 100% de la gamme lumineuse du tube, soit environ de 0 à 300 nits. Cette gamme très réduite oblige à un écrêtage brutal des niveaux supérieurs (hautes lumières) à 100%, et à des contraintes très strictes sur les conditions d'éclairage. Pour étendre la dynamique, il a fallu procéder à une extension des sur-blancs suivant deux conditions essentielles. Premièrement, il faut

[41] SINTAS Matthieu, *Le projet ADTT de cinéma électronique*, Dossier Technique de la CST N°10, octobre 1998.
[42] Conférences du « *Festival CineAlta* » (Sony France), 11 et 12 octobre 2000.

disposer de capteurs capables de reproduire une gamme dynamique étendue, avec un bon rapport signal sur bruit. Cela était presque impossible avec les caméras à tubes, alors que les Dispositifs à Transfert de Charges (DTC), communément dénommés CCD (Charge Coupled Device), apparus au milieu des années 70, ont une gamme dynamique de 600% à 1000% par rapport au niveau nominal. Ensuite, la loi de Gamma normalisée a dû être revue pour permettre une reproduction acceptable des sur-blancs. Ces travaux ont été effectués en particulier dans le cadre de la haute définition, où l'exigence de qualité de l'image est la plus forte. Deux compressions successives des blancs ont été introduites dans la chaîne de traitement de l'image pour permettre la reproduction des sur-blancs. La loi de correction normalisée par la SMPTE, sous la référence 240M, a été modifiée pour étendre la dynamique des caméras jusqu'à 200%, soit + 2 valeurs de diaphragme, sans dépasser le niveau maximum de 100%. En d'autres termes, le niveau de 100% de luminance ne correspond plus au 100%, 700 mV, du signal vidéo, mais à 400 mV ou 500 mV, selon les choix de réglages effectués lors du tournage. Après une période où des niveaux de blancs légèrement supérieurs à 700 mV ont été autorisés, l'arrivée des magnétoscopes numériques a imposé de recalibrer le signal vidéo sur 700 mV. Voici l'extension des blancs, appelée "compression des blancs", telle quelle est effectuée sur une caméra moderne.

L'extension des blancs [43]



Les quatre réglages fondamentaux sont les suivants :

- L'IRIS règle la lumière arrivant sur les capteurs.
- Le MASTER GAIN contrôle le niveau nominal de l'exposition.
- Le KNEE définit à partir de quel point commence la compression.
- L'OVEREXPOSURE, réglage final de niveau, adapte exactement le signal aux 4096 niveaux de la conversion numérique haute définition.

Le traitement du signal comprend trois parties principales :

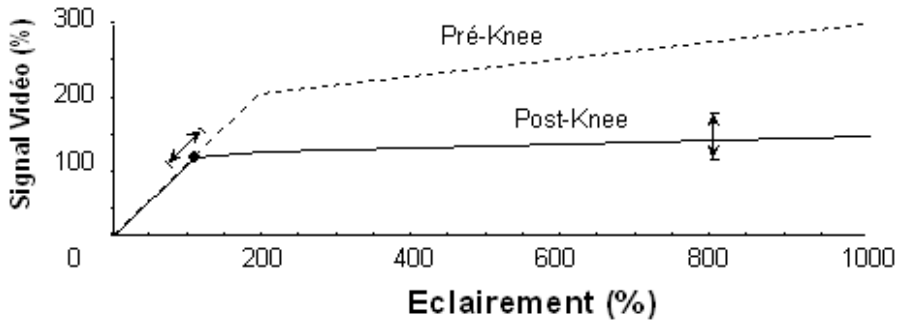
- Le PRE-KNEE, est un pré-traitement situé derrière les CCD, qui va comprimer les blancs au-dessus de 200% du niveau nominal. Le pré-knee comprime la gamme comprise entre 200% et 1000% pour la réduire à un écart de 200% à 300%. Cette réduction a pour but d'éviter toute saturation dans la chaîne de traitement de la caméra. Cette chaîne de traitement devra tout de même gérer une dynamique trois fois supérieure au niveau nominal.

[43] SINTAS Matthieu, *Le gamma en vidéo*, Dossier Technique de la CST N°1, novembre 1997.

• La CORRECTION DE GAMMA, telle qu'elle a été décrite précédemment.
• Le POST-KNEE est une deuxième compression, avec un point d'inflexion et une pente variable qui convertit le 300% en 128%.

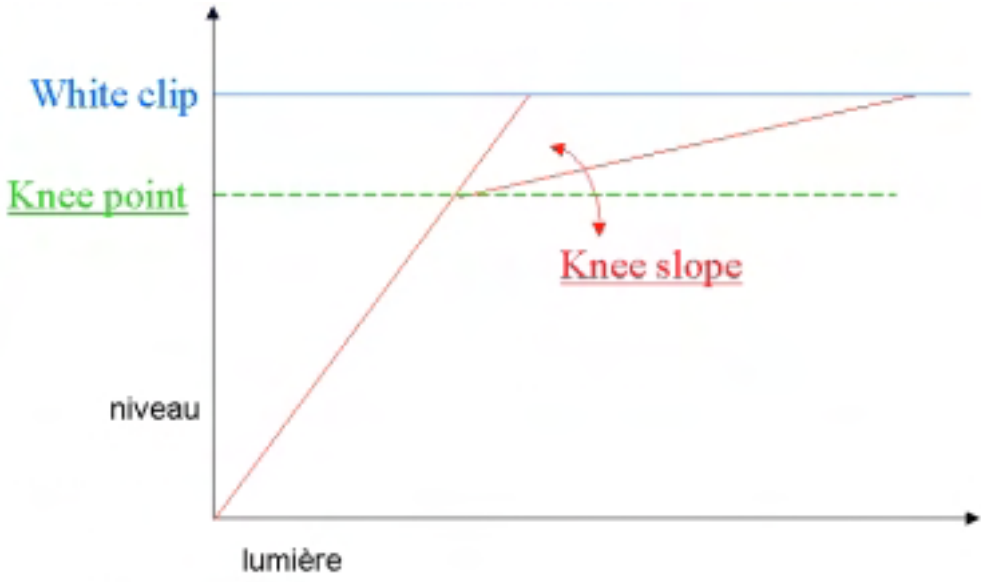
Cette méthode n'est évidemment possible qu'avec des magnétoscopes analogiques susceptibles d'enregistrer un signal ayant une amplitude de 128%.

Le Knee [44]



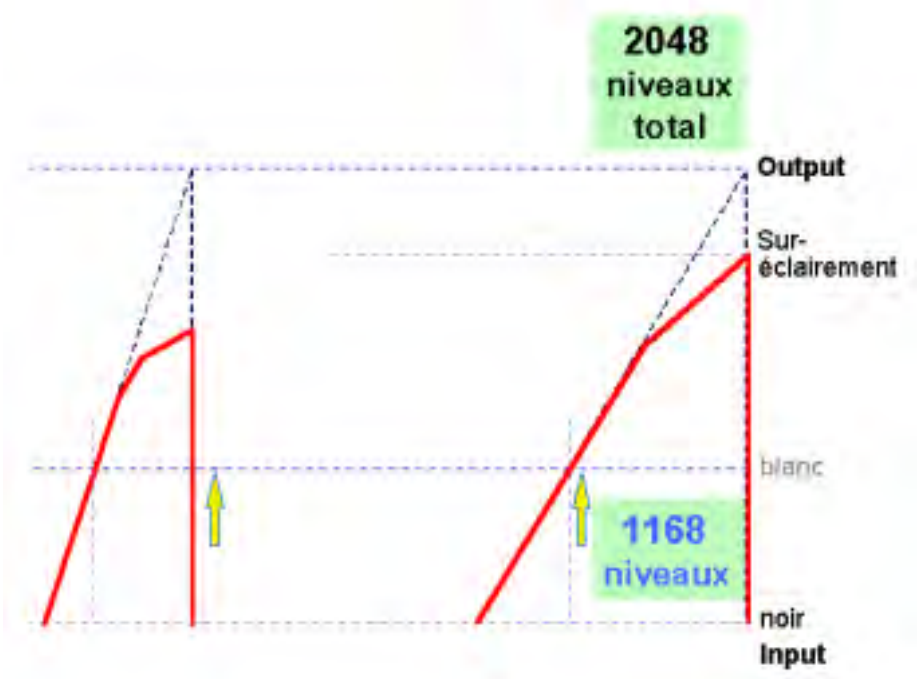
La loi de gamma des caméras qui, à l'origine, était l'inverse de la fonction de transfert des tubes, a été complètement remise en cause, et l'extension des blancs, appelée plus couramment "compression", est maintenant un réglage opérationnel sur les caméras. Ce réglage dépend des conditions de tournage et du niveau de surexposition que l'on souhaite autoriser avant l'écrêtage. De ce réglage dépendra le niveau vidéo pour 100% d'exposition, qui sera forcément bien inférieur à 700 mV.

Le Knee et le White Clip [45]



[44] SINTAS Matthieu, *Le gamma en vidéo*, Dossier Technique de la CST N°1, novembre 1997.
[45] D'après un schéma Sony.

Caméscope 12 bits ADSP après filtrage numérique [46]

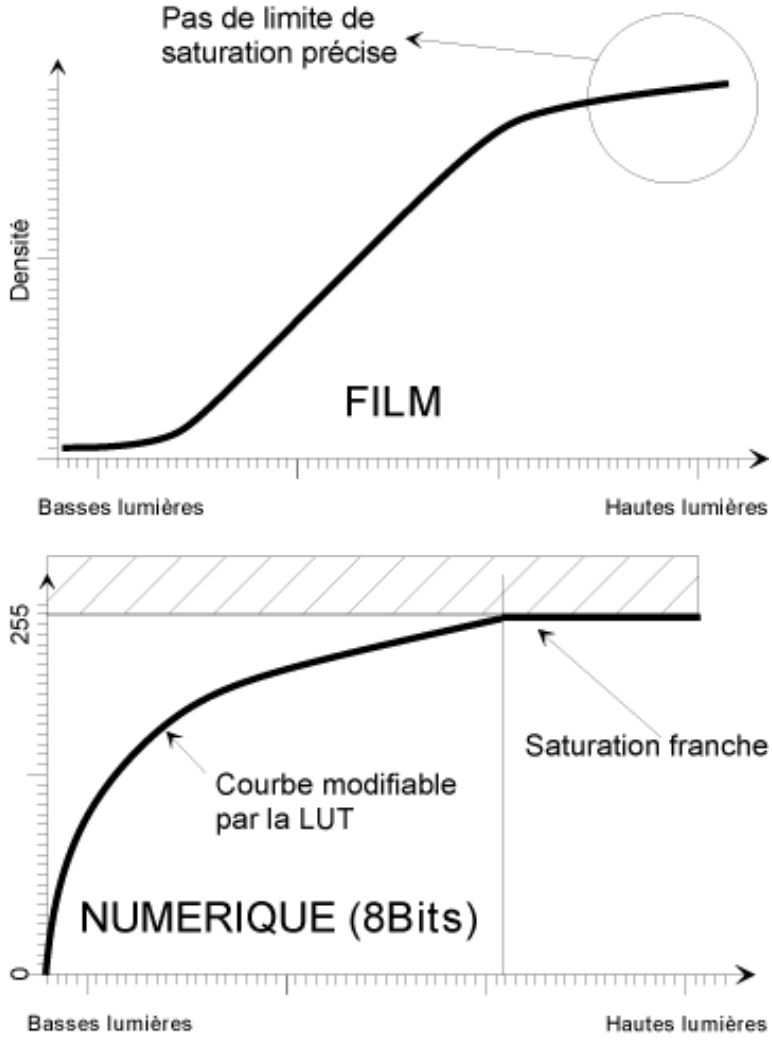


6.4. La colorimétrie

La colorimétrie est la science de la reproduction et de la perception des couleurs. Les émulsions sont enduites sur le film en plusieurs couches pour augmenter la latitude d'exposition. Dans un film couleur, ce système est répété trois fois, une fois pour chacune des couleurs primaires, pour permettre un enregistrement parfait de la couleur. En raison de sa grande dynamique et latitude de pose, le film peut reproduire une gamme étendue de couleurs et des variations de tonalité subtiles, équivalent à de plusieurs milliards de couleurs en numérique. En ce sens, Pitof compare la colorimétrie et le contraste de la 24p à une émulsion inversible : « *L'image de la 24p c'est comme de l'Ektachrome (…), il faut la poser au ¼ de diaph (…), on travaille en inversible* »[47]. En effet, si l'on s'attache au rendu des couleurs (étendue de la gamme, saturation, et transitions d'une couleur à l'autre), on peut constater de nombreuses similitudes avec un film inversible. Cela dit, un coloriste expérimenté pourrait toujours reprocher à la vidéo de présenter des carences dans la restitution de certaines tonalités, notamment la gamme des rouges. « *Une des nombreuses différences fondamentales entre les images analogiques (photochimiques) et les images numériques concerne la saturation. Lors du tournage, la pellicule négative, grâce à sa courbe de transfert, présente une saturation très progressive qui retranscrit une large gamme de nuances. Dans le monde numérique la situation est différente, la courbe de transfert peut être ajustée en fonction des besoins, mais au-delà de la valeur maximum possible du fichier plus aucune valeur n'est restituée, la saturation est totale.* »[48], soulignent François Helt de Dust Restauration et Matthieu Sintas de la CST.

[46] D'après un schéma Sony.
[47] Conférences du « *Festival CineAlta* » (Sony France), 11 et 12 octobre 2000.
[48] HELT François et SINTAS Matthieu, *Les mesures sur les images numériques : l'histogramme*, Dossier Technique de la CST N°16, avril 1999.

Fonctions de transfert film et numérique [49]



Dans la HDW-F900, le paramètre « USER MATRIX » du menu « PAINT » permet, par traitement négatif des couleurs, de rééquilibrer la colorimétrie des caméras, selon des normes de réglage colorimétrique préétablies. Les réglages globaux se font dans un tableau : couleur x - couleur y. L'utilisateur a six normes préétablies à sa disposition : SMPTE-240M, ITU-709, SMPTE-WIDE, NTSC, EBU et ITU-609. L'étendue de ces espaces couleur dans le diagramme de la CIE est visualisable sur un vecteurscope et permet de les hiérarchiser entre eux : le SMPTE-240M est celui qui offre la plus grande plage de couleurs et le NTSC la plus réduite. Lors d'une prise de vues destinée à un retour sur film, le contrôle du matriçage permet d'obtenir une équivalence avec les caractéristiques colorimétriques des différentes émulsions film disponibles actuellement, le rendu de la gamme des rouges étant le seul point faible qui persiste. L'opérateur aura donc intérêt à choisir une norme de réglage colorimétrique donnant une étendue suffisante pour éviter de se retrouver en post-production avec des points d'étalonnage trop élevés. Il peut établir son propre espace couleur en travaillant simplement sur les trois canaux RVB, contrairement aux Digital Betacam DVW-700, DVW-709 et DVW-790 dans lesquelles le contrôle du matriçage se fait sur les

[49] HELT François et SINTAS Matthieu, *Les mesures sur les images numériques : l'histogramme*, Dossier Technique de la CST N°16, avril 1999.

canaux R-V, R-B, V-R, V-B, B-R et B-V. Le sous-menu « MULTI MATRIX » permet un réglage de phase couleur par couleur, en changeant à chaque fois de numéro sur une échelle dont le pas varie entre 22° et 23°. Il permet également une modification en teinte et en saturation pour chaque couleur sélectionnée.

La balance des blancs reste le paramètre fondamental de l'équilibrage des couleurs en vidéo. Comme les Digital Betacam, la HDCam dispose d'une double roue de filtres : La première, numérotée de 1 à 4, supporte les filtres de densité neutre, la seconde, numérotée de A à D, supporte les filtres de correction de température de couleur. Notons que la valeur d'un filtre de densité neutre en vidéo est égale à son coefficient de transmission alors qu'en film elle correspond à l'inverse du coefficient de transmission. Comme de nombreux caméscopes, la HDW-F900 possède deux mémoires A et B pour la balance des blancs et un position « preset ». La pratique courante des opérateurs film lors d'une prise de vues destinée à un retour sur pellicule est de se placer dans les conditions de tournage film et de favoriser l'utilisation d'un « preset » de température de couleur plutôt que de faire une balance des blancs manuelle. Cela revient à choisir en film une émulsion équilibrée « tungstène » à 3200K ou « daylight » à 5600K. La correspondance est cependant toute relative puisque la position « lumière du jour » de la roue de filtres de correction de température de couleur indique 6300K, la valeur 5600K étant obtenue électroniquement dans la position « Clear » de la roue de filtre. De plus, il existe sur cette roue une position intermédiaire à 4300K.

Filtres de la HDW-F900

Filtres de densité neutre	Filtres de correction de TC
1 *= Clear*	***A*** *= Cross*
2 *= 1/4 ND*	***B*** *= 3200 K*
3 *= 1/16 ND*	***C*** *= 4300 K*
4 *= 1/64 ND*	***D*** *= 6300 K*

7. La structure d'image

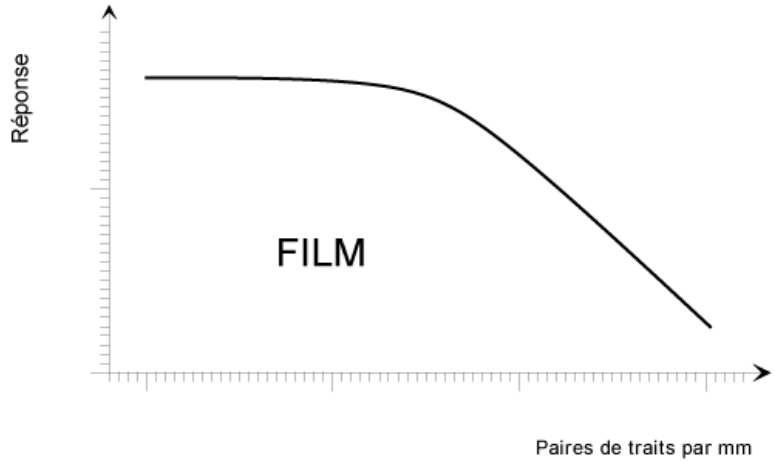
7.1. La résolution

La structure d'une image en film et en vidéo se définit essentiellement par sa résolution ou définition. La question de la résolution est évidemment déterminante dans la comparaison du film avec la vidéo numérique haute définition. La résolution du film est environ 6 fois supérieure à celle de la haute définition. La réponse en fréquence d'un film et sa fonction de transfert montrent qu'il existe encore des détails lors d'une numérisation à 4000 points par 3000 lignes, même pour les films les plus sensibles. Il suffit de comparer la taille relative d'une image 35mm avec celle d'un capteur CCD haute définition pour comprendre. Ainsi, le film négatif 35 mm répond parfaitement aux besoins des systèmes de télévision haute définition numérique. Dans l'avenir, les films de long-métrage aux formats larges et les téléfilms produits sur support pellicules s'intégreront tout naturellement dans la programmation des chaînes de TVHD. Par contre, les

programmes enregistrés sur des formats vidéo standards ou basse résolution paraîtront certainement de médiocre qualité. Cependant, si le film a effectivement une meilleure définition et une réserve de dynamique supérieure à la vidéo, Larry Thorpe souligne : « *Théoriquement, l'enregistrement dans la norme SMPTE 274 M s'effectue jusqu'à 30 MHz de bande passante, c'est-à-dire 1920 pixels par ligne qui apportent des éléments d'information. C'est le spectre fréquentiel quand on est en grand-angle, situation où l'image comporte un maximum de détails fins. Cependant, (…) dans la pratique, on n'obtient jamais plus de 1400 pixels par ligne, car l'objectif de la caméra, puis le télécinéma, ne permettent pas de transmettre plus de 25 MHz de MTF (Modulation Transfer Function). Ainsi donc, le HDcam qui enregistre en 3.1.1, donc une bande passante de 24 MHz en luminance, est parfaitement suffisant pour produire un résultat comparable au film 35 mm numérisé à travers le meilleur télécinéma.* »[50].

Françoise Duclos de Kodak définit la netteté de la manière suivante : « *La netteté est une composante de la définition, qui est une impression subjective en rapport avec la perception des bords et des contours de chacun des éléments de l'image observée. Il n'y pas de valeur objective directe permettant de mesurer la netteté ou la définition. Par contre on peut faire des analyses quantitatives précises de la perception de la netteté par : le pouvoir résolvant, la fonction de transfert de modulation. Le pouvoir résolvant est la mesure de l'aptitude d'une émulsion à enregistrer le maximum de détails contenus dans une image. Celui ci est mesuré grâce à des mires et s'exprime en nombre de lignes discernables au millimètre (1 paire de lignes par mm = 1 trait noir + 1 trait blanc). La fonction de transfert de modulation met en évidence la capacité d'un film à reproduire les fréquences spatiales complexes d'une mire sinusoïdale. Elle permet donc d'analyser la réponse d'un film aux différentes variations de contraste.* »[51]. Pour effectuer les tests de définition d'un film, on peut donc indiquer une valeur en paires de traits par millimètre ou représenter la mesure de la fonction de transfert de modulation (FTM) par une courbe.

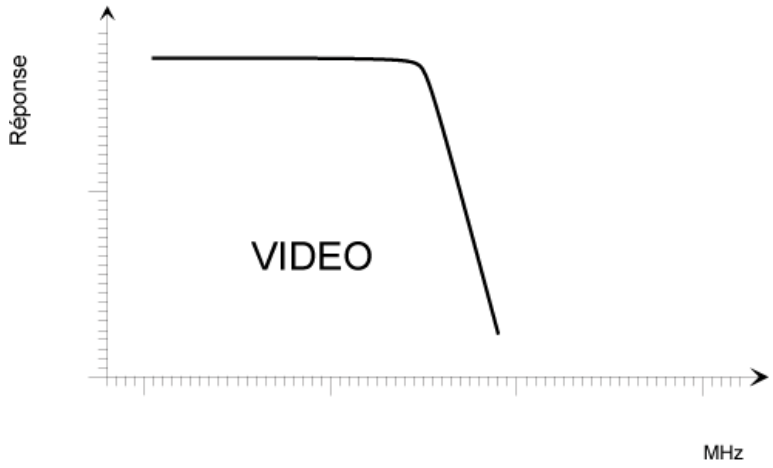
Fonction de transfert de modulation du film [52]



[50] BOSQUILLON Sophie et PIGEON Jacques, *La HD numérique et le 24p*, Dossier Technique de la CST N°26, juin 2000.
[51] DUCLOS Françoise (Kodak), *Rappel sur la colorimétrie des films*, Dossier Technique de la CST N°21, avec l'aide des supports de cours du CEFOM Kodak du CTP Ciné Chalons s/Saône et de Michel BAPTISTE (CST), novembre 1999.
[52] SINTAS Matthieu, *Le projet ADTT de cinéma électronique*, Dossier Technique de la CST N°10, octobre 1998.

En vidéo, on effectue les tests de définition grâce à une mesure la bande passante du signal. Pour cela, on utilise une mire « multi-burst » graduée en MHz, qui correspond sur le principe aux mires film en paires de lignes par millimètre. La forme du signal obtenu par lecture sur un oscilloscope a une allure assez différente de la courbe précédente, car les circuits des caméras sont réglés de manière à ce que le signal soit le plus plat possible jusqu'à la limite supérieure de la bande passante du système.

Fonction de transfert de modulation de la vidéo [53]



Corrélativement à la question de la définition, se pose en vidéo numérique le problème de l'effet de contour. Ce phénomène, propre aux capteurs CCD, intervient sur la définition apparente de l'image en ajoutant un piqué, souvent peu naturel. Pour « casser » ce piqué, il est possible dans toutes les caméras haute définition de paramétrer le réglage du contour. Dans l'hypothèse d'un retour sur film cette intervention à la prise de vues s'avère nécessaire si l'on veut éviter de mauvaises surprises. Mais la résolution des caméras haute définition rend ce défaut de moins en moins sensible et les opérateurs issus du film préconisent plutôt l'usage de filtres de diffusion de type « Promist » ou les nouveaux « Black Diffusion FX ».

7.2. Le « grain film » et le « grain numérique »

Selon la définition donnée par Françoise Duclos de Kodak, la granulation est : « *une impression subjective de non-uniformité d'une surface exposée et développée. Elle est produite par le regroupement aléatoire des colorants dans l'image du film et dépend du rapport d'agrandissement de l'image et de la distance d'examen.* »[54]. Afin de comparer différents films, on effectue donc une mesure de la granularité de ces films. Françoise Duclos poursuit en notant : « *La granularité est une mesure objective qui permet d'établir une corrélation avec la sensation visuelle de granulation. Elle est effectuée sur un échantillon exposé et développé, par un micro-densitomètre à partir d'une tâche d'exploration circulaire de 48 µm de diamètre avec un rapport d'agrandissement de 12. Elle fait appel à une loi statistique de répartition au hasard, et s'exprime " en écart quadratique moyen " -*

[53] SINTAS Matthieu, *Le projet ADTT de cinéma électronique*, Dossier Technique de la CST N°10, octobre 1998.
[54] DUCLOS Françoise (Kodak), *Rappel sur la colorimétrie des films*, Dossier Technique de la CST N°21, avec l'aide des supports de cours du CEFOM Kodak du CTP Ciné Chalons s/Saône et de Michel BAPTISTE (CST), novembre 1999.

RMS - (Root mean square). Une granularité inférieure à 5 sera ultra fine et extrêmement fine pour des valeurs comprises entre 6 et 10, très fine entre 11 et 15 et finalement fine entre 16 et 20. Il est important de noter comme repère, qu'un écart de 6% entre deux valeurs de granularité correspond " à une différence juste perceptible " de l'impression visuelle de la granulation. ».

Mais il est délicat de comparer les granularité d'un film aux pixels constituant l'image numérique étant donné la structure mobile et aléatoire des grains du film face au capteur CCD dont les photosites sont parfaitement fixes et ordonnés. Toutefois, l'œil perçoit une « impression de granularité » produite par les variations d'éclairement, de détail, de couleur, de contraste et de mouvement du sujet. Chaque pixel réagit différemment à ces infimes variations et la compression du signal crée un défaut particulier, propre à l'image numérique. Les émulsions enduites sur le film fournissent un enregistrement continu d'une scène. Elles répondent comme nos yeux. C'est un enregistrement analogique qui évite tous les artefacts associés à la numérisation. Il n'y a aucun crénelage parce qu'il n'y a aucun échantillonnage. Les CCD utilisés dans les caméras électroniques échantillonnent la scène sous la forme de pixels. Et, dans le film, il n'y a aucun effet de contour ou d'aplat parce qu'il n'y a aucune quantification. Le traitement et le stockage numériques de l'image souffrent de la quantification sur un nombre de valeurs trop faible. Les filtrages numériques utilisés pour limiter le bruit sont l'équivalent de ce que fait le grain du film, à une échelle beaucoup plus fine.

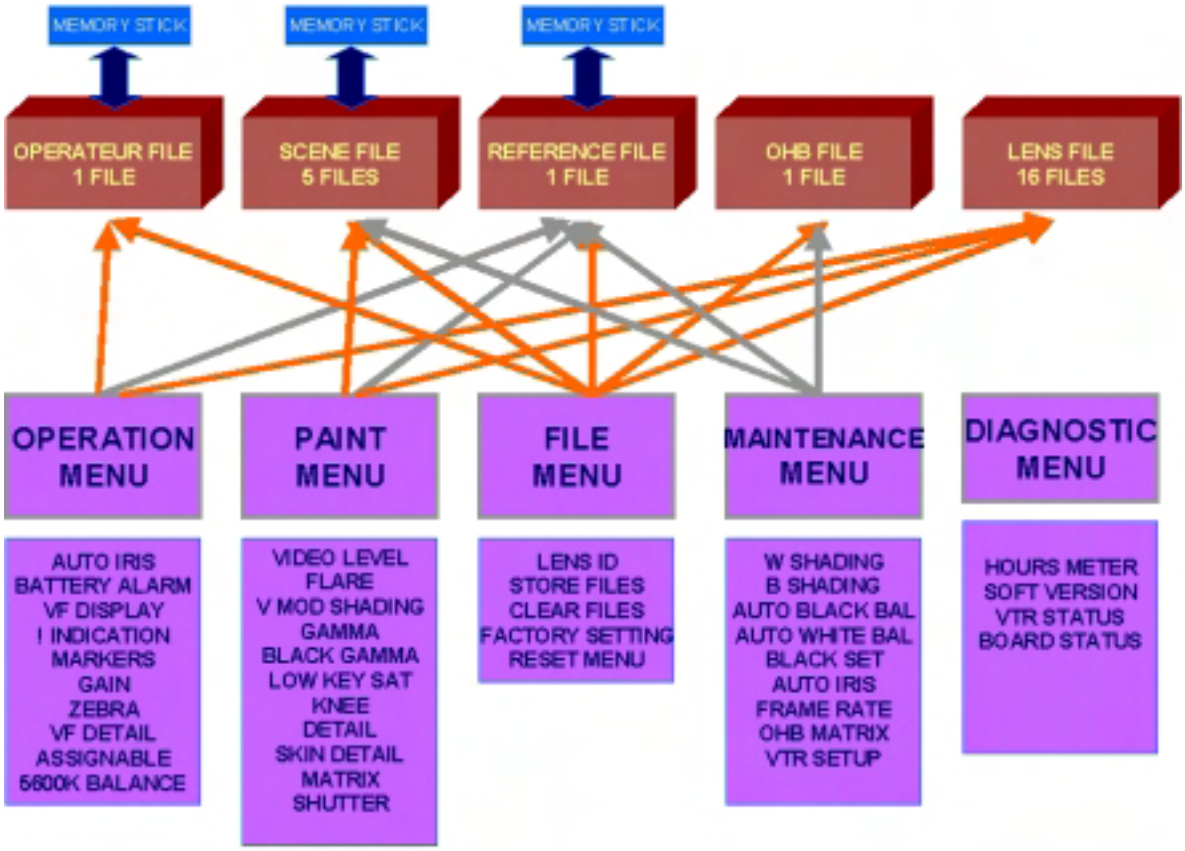
8. Les menus et les cartes à mémoire

Dans la HDW-F900, l'opérateur peut modifier certaines caractéristiques de l'image dès la prise de vue. Deux boutons de fonction sont programmables et la molette « Jog Dial » permet la navigation dans les menus. En appuyant et en tournant successivement la molette on valide la page du menu, la ligne et le paramètre à modifier. Il existe quelques variantes dans la logique des menus entre une Digital Betacam et la HDCam. Pour accéder au « TOP MENU » on appuie simultanément sur la molette et sur le commutateur « DISPLAY/MENU ». Pour visualiser les menus sur la sortie YP_rP_b on appuie simultanément sur le commutateur « MENU/CANCEL » et sur le commutateur « DISPLAY/MENU ». Cinq types de menu sont disponibles à partir du « TOP MENU » : « OPERATION », « PAINT », « MAINTENANCE », « FILE » et « DIAGNOSIS ». Le paramétrage de ces menus est stocké dans 6 mémoires : « FACTORY SET » (réglage d'usine), « REFERENCE » (réglage optimisé de la caméra), « OHB » (réglage de Shading et Multi Matrix), « LENS » (colorimétrie et flare), « STANDARD » (rappel des réglages de base REFERENCE et OHB), « SCENE » (5 mémoires en rappel instantané), « OPERATOR » (menu OPERATION). Il ne faut jamais effacer la mémoire « REFERENCE », cela revient à rappeler les paramètres d'usine, et il est nécessaire de verrouiller le menu « FILE », qui n'est exploitable que par des techniciens de maintenance munis d'équipements spécialisés.

Les cartes à mémoires déjà présentes auparavant dans les caméscopes vidéo numériques professionnels ne permettent de mémoriser qu'une seule série de paramètres personnalisés par l'utilisateur au sein des menus internes de l'appareil, alors qu'elles

possèdent une capacité qui autoriserait un archivage plus conséquent (16Mo pour celles proposées par Sony). Elles constituent une sauvegarde et autorisent un rappel instantané des « set-up » mais il faut donc toujours en avoir plusieurs à sa disposition si l'on veut garder différentes série de réglages en mémoire. Sony a misé sur la standardisation avec le « Memory Stick » des caméscopes DVcam qui vient s'ajouter à la Cinealta 24p, rompant ainsi avec les « Setup Card » des Betacam numériques. Les cartes à mémoires des caméscopes DVCPro 100 de Panasonic ont un format différent du « Memory Stick » et portent le nom de « Multi Media Card ».

Logique des menus et des mémoires de la HDW-F900 [55]



9. Les objectifs HD

Les lois de l'optique déterminent une relation entre la taille de la cible et la profondeur de champ : les dimensions d'un capteur HD (2/3 de pouces) étant globalement comparables à celles d'une fenêtre Super 16 mm, la profondeur de champ est donc environ deux fois plus importante qu'en 35 mm. Mais le rendu subjectif de l'image haute définition produite par le couple objectif / capteur HD donne l'impression d'une grande netteté et d'une très grande profondeur de champ comparativement au rendu du couple objectif / émulsion film 16mm, et à plus forte raison pour le 35 mm. Pour donner un ordre de grandeur, le rapport de focale entre la HD et le 35 mm est estimé à 2,45, ce qui donne pour une focale de 20 mm en HD une focale de 49 mm (ou 50 mm) en 35 mm. D'autre part, les

[55] Schéma Sony.

optiques vidéo HD ont des caractéristiques bien supérieures aux optiques vidéo classiques et différentes de celles des Digital Betacam : leur tirage optique est différent et elles prennent en compte les caractéristiques propres du séparateur trichrome conçu pour la HD. Certaines sont optimisées pour la définition 1920x1080 et corrigées des aberrations chromatiques à l'aide de traitements spéciaux des lentilles, d'autres ne présentent pas un pouvoir séparateur suffisant, surtout lorsqu'il s'agit d'optiques conçues pour la Digital Betacam et modifiées pour la HD. En octobre 2000, lors des conférences du Festival Cinealta, Philippe Ros déclarait : « *le débat essentiel pour l'instant étant que les objectifs, hormis Panavision et quelques objectifs fixes, n'utilisent pas la capacité du capteur, c'est-à-dire que les objectifs qui sont sur le marché et qui se prétendent HD (…) ne permettent pas d'utiliser la capacité de la caméra, ce qui est extrêmement dommage.* »[56]. On assiste donc à l'apparition d'un foisonnement d'optiques portant la dénomination HD, mais ne présentant pas toujours les caractéristiques adéquates. Je les ai classées en deux catégories suivant qu'elles se destinaient aux configurations cinéma (Digital Cinematography) ou à la télévision haute définition (HDTV) :

En tête du palmarès figurent la série Digital Primo et le zoom 6-27 mm Digital Primo en monture Panavision. « *La taille des capteurs, réduite par rapport à une fenêtre 35 mm, rend la profondeur de champ plus difficile à moduler, ce qui amène Panavision à sortir des optiques ouvertes à T : 1,6 (pour un équivalent visuel d'optiques T : 1,3 en 35 mm°. Pour la même raison, l'acutance doit être plus forte. Panavision a donc particulièrement soigné la courbe MTF de ses Digital Primo »*[57]. La série Fujinon HDTV Cine Style a été utilisée par la CST pour son étude comparative Parallèle argentique – numérique 35mm – 24p. Ces optiques sont réputées pour être de grande qualité, avec une MTF de 30 MHz, et le constructeur annonce un pouvoir séparateur de 200 paires de lignes/mm alors que la HDW-F900 à une résolution verticale théorique de 70 paires de lignes/mm. La série Canon HD est en fait une série construite pour la Digital Betacam et « upgradée » pour la HD. Elle présente par conséquent quelques résidus d'aberrations chromatiques visibles lorsque les optiques sont montées sur un caméscope HD tel que le HDW-F900. La série Arri Ultra Prime Zeiss présente des caractéristiques suffisantes pour la HD mais l'adaptateur CLA 35HD (Angénieux / Zeiss) est un système optique qui vient s'ajouter entre l'objectif et le corps caméra pour monter cette série destinée aux caméras 35mm sur un caméscope HD en corrigeant la différence de tirage optique et de tirage mécanique. Ce système optique est un obstacle supplémentaire qui, de par ses caractéristiques, ajoute ses propres aberrations à l'ensemble du système. Les zooms Angénieux sont déjà nombreux sur le marché et le 11,5 x 5,3 HR (5,3-61 mm) est celui qui a été utilisé, à défaut de mieux, pour le tournage de *Vidocq.* Ce zoom a été développé pour la haute définition à partir d'une optique film. Il portait auparavant la dénomination « HR » mais, suite aux optimisations, il a été rebaptisé « HD ». Tous les zooms HD dédiés au cinéma numérique ne sont évidemment pas motorisés. Par contre, les zooms électroniques dédiés à la TVHD sont motorisés et équipés de mémoires de zoom, de mise au point et de diaphragme, avec indexation de la trajectoire, de la vitesse et interface PC.

[56] Conférences du « *Festival CineAlta* » (Sony France), 11 et 12 octobre 2000.
[57] Mier Guy Louis, *L'avenir en 0 et en 1,* Le Technicien Film & Vidéo N°498, mars / avril 2000.

Digital Cinematography

Objectif grand angle Abakus HD Stadium 6,5 mm T1,9

Série Canon HD (6 mm – 10 mm – 15 mm – 24 mm – 35 mm)

Téléobjectifs Canon HDTV Electronic Cinematography (200 mm – 300 mm)

Série Fujinon HDTV Cine Style T1,5 (5 mm – 8 mm – 12 mm – 16 mm – 20 mm – 34 mm – 40 mm – 54 mm)

Série Optex HDTV Electronic Cinematography (40 mm – 50 mm – 80 mm – 120 mm Macro – 150 mm)

Série Digital Primo

Série Arri Ultra Prime Zeiss 35mm (14 mm – 16 mm – 20 mm – 24 mm – 28 mm – 32 mm – 40 mm – 50 mm – 85 mm – 100 mm – 135 mm) + Adaptateur CLA 35HD (focales équivalentes pour un capteur 2/3'' HD : 5,6 mm – 6,4 mm – 8 mm – 9,7 mm – 11,3 mm – 13 mm – 16 mm – 20 mm – 34 mm – 40 mm – 54 mm)

Zoom Angénieux 11,5 x 5,3 HR (5,3-61 mm)

Zoom électronique Angénieux 40 x 11 AIF.HD (11-440 mm)

Zoom Canon HJ 9 x 5,5 B KLL-SC

Zoom Canon HJ 18 x 7,8 B KLL-SC

Zoom Fujinon HA 17 x 7,8 B-10

Zoom Digital Primo 6-27 mm

HDTV

Zoom électronique Angénieux 10 x 5,3 HD

Zoom électronique Angénieux 12 x 5,3 AIF.HR (5,3-64 mm)

Zoom électronique Angénieux 15 x 8,3 AIF.HR (8,3-125 mm)

Zoom électronique Angénieux 40 x 11 AIF.HR (11-440 mm)

Zoom studio Angénieux 20 x 7,5 HD (7,5-150 mm)

Zoom OB Angénieux 60 x 9,5 HD (9,5-570 mm)

Zoom électronique Canon HJ 18 x 7,8 B IRS/IAS

Zoom électronique Canon HJ 15 x 8 B IRS/IAS

Zoom électronique Canon HJ 9 x 5,5 B IRS/IAS

Zoom Fujinon HA 10 x 5,2 EVM / ERD (5,2-52 mm)

Zoom Fujinon HA 20 x 7,5 EVM / ERD (7,5-150 mm)

Zoom Fujinon HA 15 x 8 EVM / ERD (5,2-52 mm)

Zoom Fujinon HA 36 x 10,5 ERD (10,5-378 mm)

Zoom studio Fujinon HA 24 x 7 ESM (7-168 mm)

Zoom studio Fujinon HA 26 x 6,7 ESM (6,7-175 mm)

Zoom studio Fujinon HA 66 x 9,5 ESM (9,5-625 mm)

Zoom studio Fujinon HA 66 x 13,5 ESM (13,5-890 mm)

10. Les magnétoscopes HD

10.1. Le D6 Voodoo de Philips et Thomson

Sorti en 1995, le D6 Voodoo de Philips était le premier magnétoscope au monde à permettre l'enregistrement au format CIF en 1920 x 1080, à diverses cadences image, progressif et entrelacé, sans compression et pour un débit vidéo de 1 Gbits/s. Il applique un échantillonnage vidéo de type composantes numériques en profil haute définition 22 : 11 : 11. La quantification se fait sur 10 bits pour Y et sur 8 bits pour P_r et P_b. Ce magnétoscope utilise des cassettes de type ¾ de pouce métal particule d'une durée maximum de 64 minutes. Il enregistre 10 ou 12 pistes audio 20 bits / 48 kHz. Philips est le seul fabricant européen de magnétoscope numérique professionnel avec le D6 VooDoo mais rappelons que la société commercialise aussi des produits comme le Spirit Datacine, Film-2-data, Steadiscan, Creativity, Vista vision, Phantom, Color corrector, Specter, Shadow et Vs4.

10.2. Le D5 HD ou AJ-HD3700 de Panasonic

Développé par Panasonic, le D5 HD ou AJ-HD3700 est arrivé sur le marché en 1998, en même temps que le HDW-F900 de Sony. C'est un magnétoscope numérique de post production. Il peut être utilisé pour le montage, le stockage, l'archivage ou le transfert film. Il enregistre et lit le CIF 1920 x 1080 en 10 bits dans tous les formats 1080i60, 1080i50, 1080p25, 1080p24, 720p60, 576i50, 480i60, 480p60 et utilise l'interface numérique série HD-SDI. Son taux de compression est de 4,1 : 1 en 8 bits et 5,4 : 1 en 10 bits, sans pré-filtrage. La bande passante de la luminance est de 30 MHz et celle de la chrominance est de 15 MHz. Il fonctionne en montage intra-trame, c'est-à-dire qu'il applique une DCT de longueur fixe permettant le montage à l'image et la vitesse variable. Comme dans tous les systèmes utilisant la compression, les blocs de pixels de la DCT sont analysés et répartis en groupes suivant leur type. Il s'opère un codage efficace dépendant du contenu. Les blocs sont ensuite soumis à un brassage des données, auquel s'ajoutent les corrections d'erreurs et de masquage. Le débit des données CIF est réduit à 233 Mbits/s, ce qui correspond au débit en définition standard non compressée. Les cassettes de type D5 ½ pouce peuvent être utilisées avec les deux magnétoscopes D5 et D5 HD, leur durée maximum étant de 124 minutes pour la cassette L. Le AJ-HD3700 peut fonctionner en HD et en SD grâce à un convertisseur interne bi-directionnel, avec changement de rapport, combiné avec le changement de vitesse de lecture pour la conversion internationale. Cette machine peut aussi enregistrer 4 pistes audio 24 bits / 48 kHz ou 8 pistes audio 20 bits / 48 kHz en fonction de la fréquence image vidéo.

10.3. Le HDW-F500 de Sony

Le HDW-F500 est un magnétoscope numérique haute définition à cassette utilisant le format HDcam. Il est comparable en dimensions, poids et facilité d'utilisation avec un magnétoscope ½ pouce conventionnel. Il est capable d'enregistrer plusieurs formats 23,976 / 24 / 25 / 29,97 / 30 progressifs et 50 /59,94 /

60 entrelacés, à la résolution de 1920x1080. La bande passante de la luminance est de 24 MHz et celle de la chrominance est de 7,6 MHz. Il accepte les cassettes Betacam SP, Digital Betacam et HDcam. Défini par la norme ITU-R.BT709-3, il supporte le format 1080/24PsF, standard préconisée pour la production et les échanges internationaux de programmes. Comme pour la HDW-F900, son débit vidéo est de 126 Mbits/s pour un taux de compression de 4,4 : 1. Il lit les cassettes HDcam enregistrées aux Etats Unis et au Japon à 59,94/60 Hz ainsi que les cassettes Digital Betacam et Betacam SP. Ses options principales sont les cartes :

• HKDV-501A « down converter » : convertisseur HD vers SD (composantes 625 ou 525).
• HKDV-506A : interfaces d'entrée/sortie SDTI.
• HKDV-507 : convertisseur « pull down » HD de 24 i/s vers 30 i/s.

Magnétoscope	HDcam
Type de bande magnétique	½" métal particule (type Betacam)
Année	1998
Résolution du signal de luminance	1920x1080 à diverses cadences images, progressif et entrelacé, ramené à 1440x1080 par filtrage numérique
Type d'échantillonnage vidéo	Composantes numériques haute définition 16,5 : 5,5 : 5,5
Quantification	8 bits (10 bits à venir)
Taux de compression	4,4 : 1 après filtrage numérique
Réduction de débit totale	7
Débit vidéo enregistré sur bande	126 Mbits/s en 25p
Audio	4 canaux / 20 bits / 48 kHz
Temps d'enregistrement	124 mn maximum en 30p

10.3.1. Down conversions en Pal et NTSC

La connectique de sortie et la carte HKDV-501A, incluant le SDI D1 (525/625) et le SDI D2 (525 seulement) et composite analogique, permet de faire toutes les duplications voulues avec down conversions vers les standards 525 et 625 lignes. Pour faire une copie en composantes 525, la vitesse de défilement de la bande reste à 24, l'image transite dans la carte 3:2 pull down (option HKDV-507), on obtient sur le connecteur HDSDI out une image HD 30Psf ou 60i, puis la carte HKDV-501A diminue la résolution afin de fabriquer l'image en composantes 525 lignes SDI. Pour faire une copie en composantes 625, la vitesse de défilement est accélérée de 24 à 25, on obtient à ce stade sur le connecteur HDSDI out une image HD 25Psf ou 50i, puis la carte HKDV-501A diminue la résolution afin de fabriquer l'image en composantes 625 lignes SDI. La carte « down converter » possède des choix de recadrage, tels que 16/9 plein (idem à la HD), 16/9 « letterbox » (le 16/9 est inscrit dans le 4/3 avec barres noires en haut et bas) ou 4/3 plein avec possibilité de recadrage latéral (de 2 neuvièmes de chaque coté). Snell & Wilcox a conçu deux convertisseurs : le « downconverter » HD 2200 qui convertit l'image d'un master HD en formats standards 525 ou 625 lignes et le « upconverter » HD 5100 qui effectue l'opération inverse.

10.3.2. Le SDTI

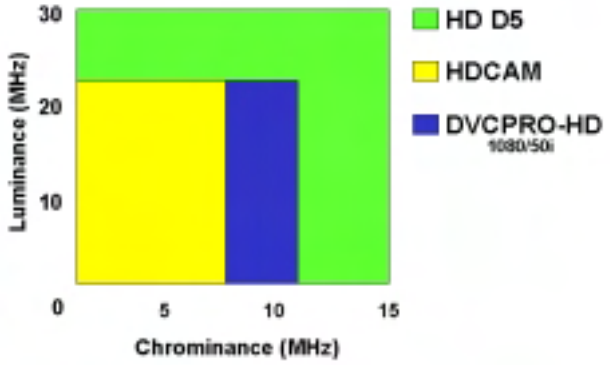
Normalisé par la SMPTE sous la référence 305 M, SDTI signifie Serial Data Transport Interface. Il s'agit d'une évolution de la norme SDI,

permettant de transporter des données numériques compressées, sur un support SDI et avec un débit de 270 Mbits/s. L'interface SDTI est une interconnexion en mode natif, c'est à dire sans décompression. Les données sont mises en forme de manière à assurer une compatibilité descendante avec les grilles de commutations SDI et peuvent représenter un ou plusieurs flux vidéo numérique compressé, transmis en temps réel ou en accéléré. Le mode de copie SDTI permet, grâce aux interfaces d'entrée/sortie SDTI de la carte HKDV-506A, de « dubber » une cassette en « tape to tape » ou vers un disque dur sans pertes ni dégradations du signal, c'est-à-dire en étant assuré de rester toujours en qualité « première génération ». Le SDTI permet aussi de travailler en pleine résolution HD sur des stations dont le hardware n'est que SDI. L'image HD est enregistrée sur les disques grâce à la sortie SDTI du VTR et à l'entrée SDI de la station. Le codec software qui se charge de la compression / décompression HDcam est disponible en version Unix et Windows NT auprès des partenaires de Sony, développeurs de solutions logicielles (Sgi).

10.3.3. Le HD-SDI

Il s'agit de l'interface numérique série haute définition ou High Definition Serial Digital Interface. Tout comme pour le 4 : 2 : 2, il n'est pas raisonnable d'utiliser une connectique de type parallèle constituée de 11 paires de câbles blindés : il faut une interface qui transporte le signal HD sur un seul câble (ou fibre optique). Il a donc été décidé de normaliser le signal numérique sous une forme série afin de le transporter dans un simple câble coaxial de 75 Ohms au débit de 270 Mbits/s et sur une distance de 300 m. L'interface série est compatible avec les signaux codés sur 8 ou 10 bits. « *Les données parallèles sont stockées dans un registre à décalage. Les mots, codés sur 10 bits, sont ensuite relus à 270 Mbits/s. Le signal obtenu est embrouillé en utilisant un générateur pseudo-aléatoire qui va disperser les transitions pour assurer une bonne transmission de l'horloge.* »[58]. Il existe une version 16/9 de l'interface SDI avec 960 pixels par ligne, pour conserver une résolution identique au 4/3. Cette version a un débit de 360 Mbits/s et peut être enregistrée sans compression, en 8 bits, par le magnétoscope D5.

Bandes passantes du D5-HD, du DVCPRO HD et du HDcam [59]



[58] SINTAS Matthieu, *Les formats d'enregistrement vidéo numériques*, Dossier Technique de la CST N°20, octobre 1999.
[59] Document Panasonic.

Magnétoscopes Numériques [60]

Magnétoscope	*Type de cassette*	*Type de bande magnétique*	*Année*	*Résolution du signal de luminance*	*Type d'échantillonnage Vidéo*	*Quantification*	*Taux de compression*	*Débit vidéo enregistré sur la bande*	*Audio*	*Temps d'enregistrement*
D1	D1	¾" oxyde	1987	720 x 576 (en 625 L) 720 x 480 (en 525 L)	Composantes numériques 4:2:2	8 bits	sans compression	166 Mbits/s	4 canaux 16/20 bits 48 kHz	94 mn avec la cassette L
D2	D2	¾" métal particule	1988	Liée au signal composite	Composite numérique PAL ou NTSC	8 bits	sans compression	142 Mbits/s en PAL	4 canaux 20 bits 48 kHz	208 mn avec la cassette L
D3	D3/D5	½" métal particule	1991	Liée au signal composite	Composite numérique PAL ou NTSC	8 bits	sans compression	142 Mbits/s en PAL	4 canaux 20 bits 48 kHz	245 mn avec la cassette XL
D5	D3/D5	½" métal particule	1994	720 x 576 (en 625 L) 720 x 480 (en 525 L) 960 x 576 (en 625 L 16/9) 960 x 480 (en 525 L 16/9)	Composantes numériques 4:2:2	10 bits en 4/3 8 bits en 16/9	sans compression	233 Mbits/s	4 canaux 20 bits 48 kHz	124 mn avec la cassette L
D5 HD	D3/D5	½" métal particule	1998	1920 x 1080 à diverses cadences image, progressif et entrelacé 1280 x 720P	Composantes numériques 4:2:2 et haute définition 22:11:11	8 bits en HD	4:1	233 Mbits/s	4 canaux 24 bits 48 kHz	124 mn avec la cassette L
D6 VooDoo	D6	¾" métal particule	1995	1920 x 1080 à diverses cadences image, progressif et entrelacé	Composantes numériques haute définition 22:11:11	10 bits pour Y 8 bits pour U et V	sans compression	1 Gbits/s	10 ou 12 canaux 20 bits 48 kHz	64 mn
Digital Betacam	Betacam	½" métal particule	1993	720 x 576 (en 625 L) 720 x 480 (en 525 L)	Composantes numériques 4:2:2	10 bits	environ 2:1 intra image	126 Mbits/s	4 canaux 20 bits 48 kHz	124 mn
Betacam SX	Betacam	½" métal particule	1996	720 x 576 (en 625 L) 720 x 480 (en 525 L)	Composantes numériques 4:2:2	8 bits	10:1 sur des groupes de 2 images	18 Mbits/s	4 canaux 16 bits 48 kHz	194 mn
HDCam	Betacam	½" métal particule	1998	1920 x 1080 à diverses cadences image, progressif et entrelacé, ramené à 1440 x 1080 par filtrage numérique	Composantes numériques haute définition 22:11:11	8 bits	4,4:1 après filtrage numérique	126 Mbits/s	4 canaux 20 bits 48 kHz	124 mn
Digital S (D9)	VHS modifiée	½" métal particule	1995	720 x 576 (en 625 L) 720 x 480 (en 525 L)	Composantes numériques 4:2:2	8 bits	3,3:1 intra image	50 Mbits/s	2 ou 4 canaux 16 bits 48 kHz	124 mn

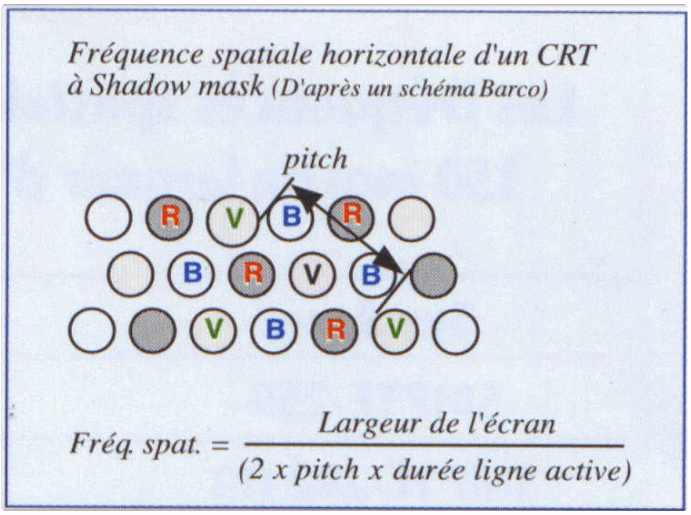
Famille DV [61]

Magnétoscope	Type de bande magnétique	Largeur des pistes	Résolution du signal de luminance	Type d'échantillonnage vidéo	Taux de compression	Audio	Débit Vidéo enregistré sur la bande	Durée d'enregistrement
DV	Métal évaporé	10 µm	720 x 576 (en 625 L) 720 x 480 (en 525 L)	Composantes numériques (8 bits) 4:2:0 en 625 L 4:1:1 en 525 L	5:1 intra image	2 canaux 16 bits/48 kHz ou 4 canaux 16 bits/32 kHz	25 Mbits/s	270 mn
DVcam	Métal évaporé	15 µm	720 x 576 (en 625 L) 720 x 480 (en 525 L)	Composantes numériques (8 bits) 4:2:0 en 625 L 4:1:1 en 525 L	5:1 intra image	2 canaux 16 bits/48 kHz ou 4 canaux 16 bits/32 kHz	25 Mbits/s	184 mn
DVCPro 25	Métal particule	18 µm	720 x 576 (en 625 L) 720 x 480 (en 525 L)	Composantes numériques (8 bits) 4:1:1	5:1 intra image	2 canaux 16 bits/48 kHz	25 Mbits/s	184 mn
DVCPro 50	Métal particule	18 µm	720 x 576 (en 625 L) 720 x 480 (en 525 L)	Composantes numériques (8 bits) 4:2:2	3,3:1 intra image	4 canaux 16 bits/48 kHz	50 Mbits/s	93 mn
DVCPro 100	Métal particule	18 µm	1920 x 1080 (en 1080i) 1280 x 720 (en 720p)	Composantes numériques haute définition (10 bits) 22:11:11	6,7:1	8 canaux 16 bits/48 kHz	100 Mbits/s	46 mn

[60] SINTAS Matthieu, *Les formats d'enregistrement vidéo numériques*, Dossier Technique de la CST N°20, octobre 1999.
[61] SINTAS Matthieu, *Les formats d'enregistrement vidéo numériques*, Dossier Technique de la CST N°20, octobre 1999.

11. Les outils de visualisation

Comme nous l'avons vu, le moniteur haute définition est un outil essentiel pour le contrôle d'une prise de vues en haute définition numérique L'écran d'un moniteur est constitué d'un CRT (Cathode Ray Tube) dont la surface est composée de points dits "luminophores", regroupés par trois et excités par un faisceau d'électron. Comme les trois phosphores d'un groupe sont très rapprochés, ils sont perçus comme étant un seul point ou pixel, d'une image et l'œil effectue la synthèse entre les trois points rouge, vert et bleu pour obtenir la couleur résultante. Mais un moniteur n'est pas un système électronique linéaire, c'est à dire que l'intensité lumineuse reproduite à l'écran n'est pas une fonction linéaire de la tension d'entrée. Pour obtenir une correcte reproduction de l'intensité lumineuse en un point de l'écran, la correction de gamma ne suffit pas à compenser la non-linéarité entre la tension d'entrée et la lumière affichée à l'écran. Cependant la perception humaine de la luminosité n'est pas elle-même uniforme mais se comporte plutôt comme une fonction puissance de l'intensité. Finalement pour obtenir une bonne correction de gamma, il faut connaître les caractéristiques physiques de l'écran, le comportement de la vision humaine et les conditions de prise de vue des images. Il faut donc définir une correction de gamma pour un observateur de référence placé dans des conditions d'observation standard.


Fréquence spatiale horizontale d'un CRT
à Shadow mask (D'après un schéma Barco)
pitch
R V B R
B R V B
V B R V
Fréq. spat. = Largeur de l'écran / (2 x pitch x durée ligne active)
[62]

Le plus important dans le facteur de gamma est son influence sur le rendu des couleurs. Nous avons vu que plusieurs paramètres jouent sur la qualité de la restitution de la couleur, entre autres le gamma de l'écran et le blanc de référence utilisé. Un certain nombre de réglages permettent donc de calibrer un moniteur haute définition. Pour cela, on utilise la plupart du temps une image test, sous la forme d'une mire de barres, qui contient une palette de couleurs et une échelle de gris allant du blanc au noir.

[62] BOSQUILLON Sophie et PIGEON Jacques, *La HD numérique et le 24p*, Dossier Technique de la CST N°26, juin 2000.

Les fréquences spatiales selon différentes normes pour un moniteur de 350 mm de largeur d'écran avec un pitch de 0,26 mm (Tableau Barco) [63]

Système	Description	Fréquence spatiale
SMPTE-259	720 x 576/50/2 : 1	12,6 MHz
SMPTE-292 (F)	1 920 x 1 080/50/2 : 1	26,03 MHz
SMPTE-293	720 x 483/59,94/1 : 1	25,24 MHz
SMPTE-296	1 280 x 720/60/1 : 1	39,04 MHz

D'après Dominique de Paepe, de la société Barco, la fidélité d'un moniteur dépend des points suivants : « *distorsions dans les circuits, résolution, calibration colorimétrique et stabilité à long terme. Les distorsions sont de type linéaire, liées à la réponse en fréquence et au délai de groupe, ou de type non-linéaire. Dans ce deuxième cas, elles peuvent affecter la luminance ou la chrominance, et agir en phase, en amplitude ou en intermodulation entre la luminance et les signaux de chrominance. En dehors de la réponse en fréquence des circuits, la résolution d'un moniteur dépend de la résolution du tube cathodique et de sa dimension, du système de balayage et de la dimension du faisceau électronique, le spot. La fréquence spatiale horizontale fixe la bande passante nécessaire pour les circuits RVB. Si elle est trop basse, la résolution sera réduite. Mais si elle est trop élevée, on verra apparaître des effets de moiré sur l'écran. La bande passante dépend de la norme du signal vidéo ; elle augmente avec le nombre de lignes par image et la fréquence image. La finesse d'un tube cathodique se définit, entre autres, par le pitch, la distance entre deux pastilles de même couleur sur l'écran. Le spot électronique doit avoir un diamètre égal au minimum à deux fois la valeur du pitch. Si le spot a un diamètre plus élevé, la résolution sera réduite. Mais, là encore, s'il est trop réduit, le moiré apparaîtra. L'ensemble des composants d'un moniteur fidèle doit être de qualité élevée et homogène : circuits de traitement du signal (entrées, décodeurs, amplis RVB), circuits de balayage, de focus et de convergence, tube cathodique lui-même. Enfin, la calibration colorimétrique doit être précise mais aussi conservée dans le temps grâce à un système de calibration automatique.*»[64].

Chez Sony, une nouvelle gamme de moniteurs commutables en de multiples fréquences à vu le jour. Les nouveaux BVM de la série D acceptent des signaux allant de la fréquence 15.625 KHz à 45 KHz. Les modèles BVM-D9, D14 et D20 pouces, prévus pour le terrain, ne sont pas réellement des moniteurs haute définition. Leur format 16/9 est obtenu grâce à des caches apposés sur l'écran. Les BVM-D24 et D32 pouces sont des moniteurs haute définition de référence affichant jusqu'à 1000 lignes de résolution et permettant une visualisation extrêmement fidèle du signal. En effet, ceux-ci sont pourvus de tubes CRT Sony de technologie « FD Trinitron », c'est à dire parfaitement plats. On trouve aussi sur le marché des

[63] BOSQUILLON Sophie et PIGEON Jacques, *La HD numérique et le 24p*, Dossier Technique de la CST N°26, juin 2000.
[64] BOSQUILLON Sophie et PIGEON Jacques, *La HD numérique et le 24p*, Dossier Technique de la CST N°26, juin 2000.

« Trinitron HR » et Barco fabrique également des moniteurs multistandards HDM 5049 (High Definition Monitor) en configuration 24p. L'autre outil de visualisation indispensable au contrôle d'une prise de vues en haute définition numérique est l'oscilloscope. Parmi ceux proposés sur le marché à l'heure actuelle, le seul qui soit réellement destiné à recevoir et à analyser des signaux haute définition est l'analyseur vidéo WFM 1125, construit par Tektronix en partenariat avec Sony.

Introduction

I. Le cinéma numérique : film et vidéo haute définition

1. Une histoire en cours d'écriture

2. L'avenir du film
   2.1. L'héritage des techniques cinématographiques
   2.2. Les avantages du support film
   2.3. La post-production numérique et le retour sur film

3. La vidéo numérique haute définition aujourd'hui
   3.1. Les origines
   3.2. Les avantages de la haute définition
   3.3. La future HDTV

4. L'évolution des métiers et les pratiques professionnelles
   4.1. Le réalisateur
   4.2. Le directeur de la photographie
   4.3. Le superviseur des effets spéciaux
   4.4. L'assistant opérateur « ingénieur de la vision »

5. La distribution, l'exploitation et la diffusion

II. La technologie numérique haute définition

1. Normes et standards
   1.1. ITU-R BT.709-4
   1.2. SMPTE-274M
   1.3. SMPTE-292M

2. Le signal haute définition
   2.1. Le brassage des données et les corrections d'erreurs
   2.2. La réduction de débit ou BRR

3. Les caméscopes HD
   3.1. La HDcam ou Cinealta 24p de Sony
      3.1.1. Les accessoires caméra
      3.1.2. Les cassettes
   3.2. Les DVC Pro 100 HD de Panasonic
   3.3. Les LDK 6000 et LDK 7000 de Philips et Thomson

4. Les capteurs

5. L’analyse du mouvement
    5.1. Les modes d’analyse
        5.1.1. L’entrelacé
        5.1.2. Le progressif
    5.2. Les cadences de prise de vues et les fréquences image

6. Le traitement du signal
    6.1. La sensibilité
    6.2. Le contraste ou gamma
    6.3. La dynamique
    6.4. La colorimétrie

7. La structure d’image
    7.1. La résolution
    7.2. Le « grain film » et le « grain numérique »

8. Les menus et les cartes à mémoire

9. Les objectifs HD

10. Les magnétoscopes HD
    10.1. Le D6 VooDoo de Philips et Thomson
    10.2. Le D5 HD ou AJ-HD3700 de Panasonic
    10.3. Le HDW-F500 de Sony
        10.3.1. Down conversions en Pal et NTSC
        10.3.2. Le SDTI
        10.3.3. Le HD-SDI

11. Les outils de visualisation

III. Partie pratique

1. Tests sur une mire de définition HD

2. Film de partie pratique
    2.1. Scénario
    2.2. Découpage technique
    2.3. Paramètres de prise de vues et visualisation à l’oscilloscope
    2.4. Interprétations des résultats

3. Essai parallèle argentique/numérique - 35 mm/24p de la CST

4. Conclusions de la partie pratique

Conclusion

Annexes au film de partie pratique

Bibliographie

Table des illustrations

Remerciements

Introduction

Le sujet de mon étude porte sur les technologies de prise de vues en haute définition numérique et sur leur intégration au sein de ce que l'on appelle aujourd'hui le « cinéma numérique ». Sony France présentait au Satis 2000 la HDcam ou Cinealta 24p, premier caméscope haute définition (HD) au format 1920x1080 utilisant la technologie « progressive scan » en 24 images/seconde (24p), récompensé par un Satisfecit. Il m'a donc parut pertinent d'étudier l'arrivée de ce nouvel outil dans le cadre des évolutions actuelles du cinéma et de la télévision vers la technologie numérique. Mon champ d'investigation s'applique à l'histoire du cinéma, dont l'évolution récente est liée à l'histoire de l'art et des techniques, et couvre le domaine des nouvelles technologies numériques, en particulier la haute définition. Il concerne également le secteur de la production cinématographique, au niveau des transformations que subissent actuellement les métiers du cinéma, l'industrie du film et son économie. L'industrie du film et la technologie étant en perpétuelle évolution, je ne chercherai pas à faire une recherche exhaustive sur le sujet mais plutôt à définir les enjeux de la prise de vues haute définition dans le contexte actuel du cinéma.

La première partie de ma recherche concerne l'histoire du cinéma électronique, au confluent de la vidéo et du film. Je limiterai mon étude aux applications de la vidéo numérique dans le domaine du film (long métrages, documentaires, court métrages) en ouvrant une parenthèse sur la HDTV (ou TVHD) et la projection numérique. Je m'intéresserai particulièrement au domaine de la prise de vues et du traitement numérique destiné à un retour sur pellicule 35mm. Cette partie est également consacrée à l'évolution des métiers et des pratiques professionnelles à travers un recueil des propos tenus, lors de conférences, par de récents utilisateurs de la HD, réalisateurs, techniciens et créateurs, comme Pitof (réalisateur et spécialiste des effets spéciaux), Philippe Ros (chef opérateur), Jean-Francis Gondre (chef opérateur) et Vincent Muller (assistant opérateur). Ces propos concernent les méthodes de travail, les apports techniques de ce nouvel outil et la texture de l'image : travail de la lumière et traitement électronique de l'image, souplesse de travail des effets spéciaux, étalonnage numérique et retour sur film, transformation des méthodes de travail et de la chaîne de production.

La deuxième partie est une étude de la technologie et des outils de prise de vues haute définition numérique : les normes et standards, le signal haute définition, les caméscopes, les capteurs, l'analyse du mouvement, le traitement du signal, la structure d'image, les menus et les cartes à mémoire, les objectifs, les magnétoscopes et les outils de visualisation.

La partie pratique qui accompagne ce travail est une expérimentation personnelle des potentialités des outils de prise de vues haute définition. Elle se présente en trois temps. La première étape est consacrée à l'élaboration d'une mire de définition HD et à une série de tests effectués sur cette mire. La deuxième étape, qui se présente sous la forme d'un court métrage, est un travail sur la texture de l'image générée par le caméscope Cinealta : sensibilité, contraste, dynamique (hautes lumières et basses lumières), colorimétrie, profondeur de champ, comparaison HD/35 mm et analyse du mouvement (progressif ou entrelacé). La troisième étape est le comparatif effectué par la CST, Essai parallèle argentique/numérique - 35mm/24p, auquel j'ai moi-même participé.

I. Le cinéma numérique : film et vidéo haute définition

« *Je pense que nous sommes à la veille d'un événement qui fera de la révolution industrielle une véritable anecdote : la révolution de la communication. Elle arrive très vite. Les films des années 80 iront bien au-delà de vos rêves, rien que d'ici deux ans. Je vois une révolution de la communication qui touchera le cinéma, les arts, la musique, l'électronique numérique, les ordinateurs, les satellites mais surtout le talent humain. Les grands maîtres du cinéma dont nous sommes les héritiers, ne croiraient pas ce qui va être possible.* »[1]. Plus de vingt ans après cette déclaration de Francis Ford Coppola à la cérémonie des Oscars en 1979, l'histoire a donné raison à l'auteur d'*Apocalypse now*. On n'a jamais autant parlé des mutations du cinéma. L'émergence du numérique touche tous les domaines de la communication. La prise de vues, les effets spéciaux, l'étalonnage et la projection numérique, mais aussi le développement d'Internet, du DVD et la télévision numérique bouleversent les pratiques des cinéastes et les habitudes culturelles des spectateurs. Dans quelques années, nous regarderons la télévision numérique (DTV) ou la télévision numérique haute définition (TVHD) à écran large 16/9. Dès aujourd'hui, sont en train de se profiler les nouveaux matériels, caméras, enregistreurs, et systèmes de diffusion qui sont déjà employés aux Etas-Unis et qui commence à être expérimentés en Europe par quelques pionniers. Certains vont même jusqu'à prédire la disparition prochaine du support film. Mais commençons par voir plus en détail ce qui nous intéresse dans cet environnement technologique nouveau : le cinéma numérique.

1. Une histoire en cours d'écriture

Dans l'histoire de la vidéo et de la télévision, le terme « haute définition » a été appliqué successivement à différents systèmes. Aux débuts de la télévision chaque nouveau prototype était qualifié de haute définition, en comparaison aux précédentes innovations. « *Ainsi, les systèmes 343 lignes, 405 lignes puis 441 lignes, furent détrônés par des systèmes 525 et 625 lignes, NTSC et Pal dits « High Definition Color Television System »* »[2], écrit Pascal Kerloch dans un article paru dans Sonovision : L'image numérique toujours plus haut. Débuté en 1975, le projet de la haute définition numérique ne commence à se concrétiser qu'à partir de 1995 par la détermination de normes et de standards au sein de la SMPTE et de l'ITU. Ce sont les constructeurs de matériel vidéo japonais qui, soutenus par la télévision nationale, la NHK, ont proposé un standard de HDTV analogique au début des années 80. L'image au format NHK comportait un total de 1125 lignes, dont 1035 actives, pour une cadence de 30 images/s en balayage entrelacé, c'est-à-dire une fréquence trame de 60 Hz. Le format d'image était d'abord le 4/3 puis le 16/9. Dans un premier temps, les Américains ont adopté ce standard. Pour des raisons politiques et pour éviter les problèmes liés à la conversion des formats, les Européens ont émis une contre-proposition à 25 images/s, chaque image comportant 1250 lignes (2 x 625) dont 1150 actives, pour une fréquence trame de 50 Hz. Ces deux formats sont restés expérimentaux, malgré une tentative de diffusion au Japon et une phase d'expérimentation en Europe dans le cadre du programme Euréka. L'évolution est arrivée avec l'apparition du

[1] Thema (Arte) : *Petites révolutions culturelles : Micro-cinéma*.
[2] KERLOCH Pascal, *L'image numérique toujours plus haut*, Sonovision N°444, octobre 2000.

numérique et la convergence de la vidéo avec les systèmes informatique à pixels carrés et à balayage progressif. Débuté en 1993, le programme d'implantation de la télévision numérique aux Etats-Unis a été l'occasion de normaliser les standards de la télévision numérique basse définition (SDTV), haute définition (HDTV) et du « Digital Cinema » ou « cinéma numérique ». Pour obtenir des pixels carrés, les Américains ont alors imposé au format japonais NHK, comportant 1920 pixels par ligne pour 1035 lignes actives, une augmentation à 1080 lignes (1920/16 x 9 = 1080). Le format européen à 1250 lignes aurait nécessité 2048 pixels par ligne pour obtenir des pixels carrés mais, ceci étant trop élevé, les constructeurs européens se sont ralliés au 1920 x 1080. Ces aménagements ont abouti au CIF (Common Image Format) à 1920 x 1080 lignes au format 16/9, en balayage progressif ou entrelacé à 24 ou 25 images/s, format d'image commun aux pays à 50 et à 60 hertz, adopté mondialement par l'ITU (International Television Union), la SMPTE (Society of Motion Picture and Television Engineers) et soutenu en 1997 par l'UER (Union Européenne de Radiodiffusion) dans la déclaration technique D62.

Historique des formats d'enregistrement magnétique HD

Format	Enregistrement	Zone	Application	Année
1er systèmes HD		Japon	TV	1981
1 pouce analogique, dérivé du transport de bande 1 pouce C	Analogique	Japon	TV	1984
1 pouce numérique , HDD-1000	Numérique	Japon	TV	1989
HDCAM	Numérique	Japon / USA	TV	1997
HDCAM 24P " CineAlta "	Numérique	Toutes	TV & Film	2000

3

Ce format qui nous intéresse particulièrement dépasse le 4:2:2., considéré actuellement comme « Broadcast TV ». Comme le relève Matthieu Sintas dans un dossier technique publié par la CST : « *Sa résolution particulièrement élevée destine ce format autant à la fiction télévisuelle haut de gamme qu'au retour sur film pour de la projection en salle. C'est une alternative numérique au tournage super 16 ou 35 mm* »[4]. Il est décliné en de multiples versions qui diffèrent, soit par le mode d'acquisition et d'affichage des images (entrelacé ou progressif), soit par la cadence image ou la cadence trame. On trouve donc des versions standards, utilisant le mode d'analyse des systèmes vidéo classiques, entrelacées à 30 images/s aux Etats-Unis et à 25 images/s en Europe et des versions progressives à 24 images/s aux Etats-Unis et à 25 images/s en Europe. Ces dernières sont dénommées par l'acronyme « 24p », c'est-à-dire 24 images/s en mode progressif, correspondant à une analyse du mouvement de type « cinéma ». Elles sont destinées à la fiction car elles permettent un retour sur film simple en évitant les problèmes inhérents au désentrelacement des images. Les versions standards sont orientées vers la télévision et plus spécifiquement le sport car la fréquence d'analyse du mouvement dans le système entrelacé est deux fois supérieure à son équivalent progressif. Il existe également un deuxième format haute définition, typiquement américain : le 1280 x 720 lignes en balayage progressif à 60 images/s, dénommé par l'acronyme « 720p ». La haute définition

[3] KERLOCH Pascal, *L 'image numérique toujours plus haut*, Sonovision N°444, octobre 2000.
[4] SINTAS Matthieu, *Les formats d'enregistrement vidéo numériques*, Dossier Technique de la CST N°20, octobre 1999.

caractérise donc plusieurs formats d'images numériques et ouvre la voie à la polyvalence des machines : l'opérateur de prise de vues peut effectuer son choix de mode d'analyse suivant les impératifs techniques d'un type de production, le style de film et le mode de diffusion choisi. Cependant, les approches en matière de systèmes sont contradictoires et, malgré les normes adoptées récemment, une coalition des constructeurs informatiques favorise les systèmes à balayage progressif, alors qu'en télévision les diffuseurs sont partagés entre les formats entrelacés et les formats progressifs. Ce conflit est motivé par des arguments techniques et financiers mais, le fait que les sociétés d'informatique soient impliquées dans le débat indique que nous allons vers une ère de convergence des technologies, des marchés et des entreprises. De plus en plus, les écrans d'ordinateur sont utilisés comme moniteurs de télévision, les téléviseurs ont des puces et des cartes informatiques intégrées pour certaines fonctions et les compagnies de téléphonie diffusent, grâce à leurs réseaux câblés et leurs satellites, des contenus informatiques via Internet et des programmes télévisés.

Lors de l'IBC (International Broadcasting Convention) qui s'est tenue à Amsterdam du 11 au 15 septembre 1998, le consortium ADTT (Advanced Digital Television Technologies) a présenté un projet européen de production cinématographique électronique au sein du programme Eurêka 1711. L'objectif était d'employer les techniques de la vidéo numérique et de l'informatique pour concevoir une chaîne de production de qualité comparable à celle du film 35 mm, avec des moyens économiquement et pratiquement compatibles avec les exigences d'une production de long métrage. Grâce à la caméra CinéVidéo, conçue dans le cadre de ce projet, une réflexion a été menée sur l'évolution possible du cinéma vers le numérique, la renaissance de la TVHD européenne et la convergence des technologies cinéma, numérique et informatique. Les choix techniques à la prise de vues ont été déclinés suivant deux modes de fonctionnement : le « mode film » et le « mode vidéo ». Aujourd'hui, des constructeurs comme Sony, Panasonic ou Philips proposent de nouvelles gammes de matériel de prise de vues, caméras et magnétoscopes, utilisant les formats haute définition. Mais l'arrivée du numérique dans le cinéma a été abordée par les cinéastes suivant deux démarches esthétiques bien distinctes, l'une dans la lignée des nouvelles vagues européennes (France, Angleterre, Allemagne) et américaines (Cassavetes) utilisant un matériel léger comme la DV, l'autre dans la lignée du cinéma à gros budget utilisant une technologie lourde comme la HD, les effets spéciaux et l'étalonnage numérique.

L'exploitation en 35 mm de films tournés en numérique commence avec la vague des tournages utilisant les petits caméscopes DV comme *La route du sel* de Ulrike Koch, les films Dogma comme *Festen* de Thomas Vinterberg, *Les idiots* de Lars Von Trier, *Lovers* de Jean-Marc Barr, et la série *Petite caméra* produite par Arte. Des réalisateurs comme Stéphane Meunier, auteur du fameux documentaire *Les yeux dans les bleus*, apprécient particulièrement la discrétion des mini DV, qui permettent au journaliste de saisir des instants fugitifs. En effet, ces caméras ont une taille réduite et un poids idéal pour les documentaristes et les reporters. Dans *Festen* l'adéquation entre le sujet filmé et le moyen de tournage employé est parfaite : un film de famille. Avec l'attribution au festival de Cannes en 1998 du prix spécial du jury pour *Festen*, le « micro-cinéma » brise un tabou : on peut projeter dans le plus grand festival de cinéma du monde un film tourné en vidéo, à moindre frais, quasiment sans éclairage. L'intention de ce film est de pousser un peu plus loin l'expérimentation du « cinéma direct » et d'abolir la frontière entre filmeur et filmé. Ce type de production est une alternative au pouvoir des grands groupes audiovisuels. Ainsi, Lars Von Trier est auteur, réalisateur et cadreur. Récemment, avec

Dancer in the dark, palme d'or du festival de Cannes 2000, il a prononcé à nouveau le « vœu de chasteté » cinématographique Dogma 95, à savoir éviter les nombreux « trucs » du cinéma commercial pour tenter de retrouver la vérité, la spontanéité et l'inventivité du médium. Robby Müller, le directeur de la photographie, est l'un des plus prolifiques et célèbres du cinéma indépendant. Collaborateur de Wim Wenders et Jim Jarmusch, il a récemment photographié en Digital Betacam la partie de *Buena Vista Social Club* tournée à Amsterdam. Robby Müller avait déjà collaboré avec Lars Von Trier sur *Breaking the waves*, ce qui lui a valu en 1996 le prix de la Meilleure Photographie, décerné par le New York Film Critics Circle et la National Society of Film Critics. Lors d'une conférence tenue au festival Camerimage à Lòdz en Pologne, il a démontré les avantages du dispositif de tournage développé par Lars Von Trier, notamment dans la relation de triangulation qui s'installe entre le cadreur, la caméra et l'acteur. Dans une interview sur *Dancer in the dark* Lars Von Trier a déclaré : « *La technique consistant à se servir d'une caméra à l'épaule et de la vidéo a été étendue aux séquences musicales pour préserver l'effet aléatoire, la qualité du « direct ». En utilisant une série de caméras fixes au lieu de régler un plan avec une seule caméra, on doit pouvoir ne pas contrôler la scène. (…) Ce n'est certes pas parfait; ça a été une sorte de coup d'essai, mais les 100 caméras nous ont permis d'avoir des plans qu'on n'aurait pas eus si on s'était servi d'un story-board, quelques « moments privilégiés ». (…). Dans une scène, ils ont dansé deux jours de suite avec 100 caméras. Si on avait eu une seule caméra et un story-board, ça aurait pris deux semaines. (…) Au cinéma, les gens ont tendance à ne pas aimer le direct parce que c'est comme à la télévision ou au théâtre. (…) Björk a eu une très bonne idée au début, elle pensait que les chansons devaient être chantées et enregistrées en direct, mais malheureusement on n'a pas réussi à le faire »*[5]. Toutefois, la liberté que propose ce support se fait au détriment d'une qualité d'image qui passe au second plan. De plus, les déviances vers des scénarios sans réflexions, ni sémantique ni esthétique, sont inévitables. Cette étape de la production cinématographique ne peut donc être que transitoire. Dans le cas de la vidéo numérique haute définition et de la HDcam utilisée par Pitof, créateur des effets spéciaux de *Delicatessen, Alien 4, Astérix* et réalisateur de *Vidocq*, et par Georges Lucas pour *Star wars episode II*, l'intention est avant tout de faciliter l'intégration des effets spéciaux en post production. D'après Benjamin Bergery, Lars Von Trier s'intéresserai à la 24p pour son prochain film. Jonathan Demme, actuellement en tournage de *The truth about Charlie*, photographié par Fujimoto, panache le 35mm pour les séquences de jour et le HDcam pour les séquences de nuit. Ce panachage avait déjà été expérimenté auparavant par Wim Wenders et Phedon Jr Papamichael pendant le tournage « express » du clip de U2 *The ground beneath her feet* en mai 2000. D'autre part, la série documentaire *Deep Ocean Odyssey*, filmée à la manière des expéditions du commandant Cousteau, utilise également des moyens de prise de vues haute définition. Avec ce genre d'outil, la réflexion sur l'image et la mise en scène, la préparation et les méthodes de travail ne sont pas révolutionnées pour autant et la complexité et la lourdeur de telles productions imposent une qualité et une rentabilité du film auprès d'un large public. Il est donc important de considérer l'apport du numérique dans l'esthétique du film sous ces deux angles : la révolution de l'image et de la mise en scène par la DV et l'évolution de la technologie numérique vers une grande qualité d'image qu'est la HD. On a d'une part une remise en cause fondamentale de l'écriture filmique, d'autre part l'aboutissement à une qualité formelle et à une norme. Mais c'est bien l'avènement du numérique dans le monde du cinéma et de la télévision qui est à l'origine de ces deux phénomènes. Cependant, si la période actuelle n'est qu'une phase de transition vers le « tout numérique », le film reste encore le support de prise de vues et de diffusion privilégié du cinéma.

[5] Site www.arte.com, octobre 2000.

2. L'avenir du film

La production de film et de programmes télévisés de grande qualité augmente avec l'accroissement des outils numériques et des nouveaux canaux de distribution comme la télévision numérique basse et haute définition, les jeux et internet. Mais, le traitement des différents formats d'image incompatibles entre eux est un défi d'avenir important. Dans ce contexte, le film occupe une place essentielle pour la captation des images, et ceci en raison de sa grande latitude d'exposition, de l'étendue de sa gamme de couleur et de sa résolution qui excède n'importe quel support actuel de prise de vues. En dépit des récentes avancées en matière de projection numérique, il est meilleur marché de tirer une copie 35mm que de la transmettre électroniquement. De plus, le film étant indépendant des matériels et des logiciels utilisés, il est le support idéal pour la conservation des archives. Lors d'une conférence donnée par Jean Fabien Dupont de Kodak et publiée dans le SMPTE Journal, celui-ci déclarait : *« La tendance est d'améliorer le spectacle cinématographique avec des grands formats, des grands écrans, et des cadences images élevées. Kodak améliore sans cesse la technologie du film pour soutenir cette demande de qualité. Kodak invente de nouvelles manières d'employer des technologies électroniques et numériques pour pousser le film plus loin. Cette convergence a déjà commencé... profitons-en ! (…) Beaucoup de créateurs de nouveaux programmes choisiront le film cinématographique parce qu'il possède ce que le futur exigera : la qualité d'image la plus élevée et la compatibilité mondiale. L'image qu'il porte est compatible avec, et indépendante de, n'importe quel système analogique ou numérique de télévision* »[6].

En effet, le film négatif couleur 35mm est largement employé aux Etats-Unis pour le tournage des téléfilms, et dans le monde entier pour le tournage des films de fiction et des films publicitaires destinés au cinéma et à la télévision. En Europe, le film Super 16 mm au nouveau format 16/9 (1,78) de la TVHD est également employé par les productions télévisées mais tend à disparaître au profit de la vidéo numérique. Toutefois, le film cinématographique est un support fiable et de grande qualité dont nous allons voir l'influence, les capacités et le rôle dans la production des images. Je commencerai par étudier l'héritage des techniques cinématographiques dans la vidéo numérique, puis j'examinerai les avantages du support film, pour finir par l'étalonnage numérique et le retour sur film.

2.1. L'héritage des techniques cinématographiques

Tout au long de l'histoire du cinéma, les techniques photographiques ont évolué à travers les progrès accomplis en matière de photochimie et l'expérience des directeurs de la photographie. Les règles fondamentales ne changent pas avec le numérique et la haute définition n'améliorera pas une scène mal éclairée, au contraire. « *Les images sont créées par de la lumière. C'est, avant tout, la façon dont elle se dépose sur les personnages et les décors qui fait une belle image. La manière de photographier une scène est personnelle à chaque directeur photo. Il en reste de même avec le numérique*. »[7], affirme Pascal Kerloch. Tout le soin apporté à

[6] DUPONT Jean Fabien (Kodak), *Le Film et le futur de la captation des images*, conférence publiée dans le SMPTE Journal (Society of Motion Picture and Television Engineer) et traduite par Matthieu SINTAS dans le Dossier Technique de la CST N°23, février 2000.
[7] KERLOCH Pascal, *L 'image numérique toujours plus haut* , Sonovision N°444, octobre 2000.

la préparation avant le tournage, aux décors, aux costumes, au maquillage, à la mise en scène, au cadre et à la construction d'un éclairage, reste inchangé et devient même plus délicat et complexe qu'en film. D'autre part, les cadences 24p, 25p et 30p, délivrant des images non entrelacées, ont été adoptées par les organismes de normalisation pour s'harmoniser avec les cadences du film et de la télévision. Le format d'image désigné pour la future HDTV est le 16/9 ou 1,78 qui est hérité des formats panoramiques cinéma 1,66 et 1,85 et qui tente de devenir le format universel. Enfin, les accessoires caméra développés pour les versions « cinéma » des différents caméscopes haute définition présents sur le marché entrent dans la lignée des accessoires caméra conçus pour le film. Ainsi, l'évolution du cinéma se profile dans la convergence des technologies du film et du numérique, et dans la découverte de nouveaux moyens de combiner leurs forces spécifiques.

2.2. Les avantages du support film

Depuis les débuts de la HDTV il y a environ deux décennies, le film a bénéficié d'améliorations régulières alors que la télévision haute définition commence seulement à se développer. A la fin des années 80, l'amélioration des émulsions photographiques, grâce à la découverte d'une nouvelle forme de cristaux d'halogénure d'argent, a permis des progrès révolutionnaires dans la sensibilité, la résolution et le grain du film. L'an passé, Kodak a présenté la Vision 800T (5289) et, cette année, c'est au tour de l'Expression 500T (5284). La rapidité de l'émulsion Vision 800T montre les capacités du film à atteindre des sensibilités encore inconcevables en vidéo il y a un an. Aujourd'hui, les nouveaux capteurs équipant les caméscopes haute définition présentent une équivalence en sensibilité de l'ordre de 640 ISO mais le coût de production du film reste moindre pour un rendu visuel encore supérieur à la haute définition. Le tournage sur pellicule offre une grande qualité d'image mais comporte aussi de nombreux avantages pratiques. Suivant le budget de la production, le réalisateur a le choix entre différents formats, plus ou moins contraignants et plus ou moins coûteux. L'opérateur peut choisir parmi une variété d'émulsions pour s'adapter aux conditions de prise de vues et à la demande esthétique du projet. Il peut ainsi travailler l'image en finesse grâce à la grande latitude de pose du film. Il peut également choisir parmi une grande variété d'objectifs et de caméras dont les caractéristiques s'adaptent à différents usages. De plus, les caméras film fonctionnent à de multiples cadences, permettant la création d'effets de ralenti et d'accéléré. Le choix de la cadence de prise de vues est encore très limité avec les caméras électroniques.

D'autre part, le film répond à la principale demande du futur qu'est la compatibilité des types d'images. Les incertitudes et la déjà grande diversité des formats et des normes de la vidéo numérique donne tout son sens à l'utilisation d'un support qui est déjà une norme mondiale : le film. Naturellement, le film peut être converti en n'importe quel format électronique actuel ou futur, et il supporte parfaitement l'intégration des nouvelles technologies numériques. Actuellement, une image film transférée en HDTV est l'image de la plus haute qualité qui existe en télévision. Ainsi, quelles que soient les orientations prises dans l'avenir, les programmes et les œuvres réalisées sur support film deviendront très facilement des programmes de DTV (Digital Television). Comme le signale Michel Baptiste de la CST : « *Le film cinématographique reste aujourd'hui le principal support pour la*

captation d'images, tant pour la diffusion sur les chaînes de télévision que pour les projections en salles des oeuvres de fiction. Pour que ces images soient parfaitement changeables entre les différents médias des différents pays du monde, il est nécessaire que tous respectent les mêmes règles, notamment en matière de caractéristiques dimensionnelles. Outre le cinéma, la télévision utilise également ces images, soit pour des fictions tournées en film, en vue de leur seule diffusion en télévision, soit pour diffuser des oeuvres cinématographiques sur les chaînes de télévision. Les organismes de normalisation continuent de faire évoluer les caractéristiques dimensionnelles des images enregistrées et des champs d'images projetées pour répondre le mieux possible à l'évolution des technologies, tout en assurant une compatibilité avec les éléments anciens, règle d'or au cinéma depuis près d'un siècle pour les images et depuis soixante-dix ans pour le son. En ce qui concerne l'industrie cinématographique, les décisions sont prises au niveau mondial au sein de l'ISO, l'organisation internationale de standardisation, selon un processus de vote où chaque pays membre peut s'exprimer selon des procédures, souvent longues, mais parfaitement définies. (…) C'est en effet à partir de ces normes internationales ISO que seront déclinées ou adaptées les conditions de transfert des films en télécinéma, les conditions de report de vidéo-numérique sur film ou les conditions de transfert de films pour une diffusion numérique en salle. »[8].

On peut donc dire que le film est à l'épreuve du temps. Ce paramètre a toujours été un problème pour l'image électronique car ses supports d'acquisition et de diffusion dépendent du matériel utilisé et du standard de son pays d'origine. Chaque avancée technologique exige d'investir dans des équipements coûteux, comme ce fut le cas pour passer des caméras à tubes aux caméras à CCD, des enregistreurs analogiques aux enregistreurs numériques, et ainsi de suite. Il est délicat d'investir dans des équipements de production numérique car ils peuvent rapidement devenir obsolètes si une norme différente est adoptée ou si de nouvelles améliorations sont développées. A l'inverse, avec le film, il n'est pas nécessaire de changer de matériel pour profiter des derniers progrès dans le domaine des émulsions photographiques. Evidemment, les caméras cinématographiques ont également progressé au cours des années, mais une vieille caméra film 35mm, même celle qui a filmé *Citizen Kane* en noir et blanc il y a plus de 50 ans, a déjà fait tout l'investissement nécessaire pour obtenir des images reconnues dans le monde entier comme HD. Ceci est également vrai pour les cinéastes qui utilisent des caméras 16 mm : une vieille Arri ou Aaton 16 mm peut facilement être adaptée en Super 16 mm, lui permettant ainsi d'être prête pour la TVHD. L'archivage est une autre raison pour laquelle le film est considéré à l'épreuve du temps. Le film cinématographique s'est avéré être un excellent support de stockage pour préserver notre patrimoine visuel. Les films tournés il y a des décennies sont encore visibles alors qu'une grande partie des programmes enregistrés sur cassettes vidéo ont été perdus pour toujours. L'espérance de vie d'un film correctement stocké est de 50 à 100 ans tandis que celle de la cassette vidéo magnétique est de 10 à 20 ans au mieux. Les archives film sont une source significative de revenu pour l'industrie du cinéma et de la télévision et la chambre forte des films contient souvent le capital principal d'un studio. Evidemment, les conditions de stockage jouent un rôle important en prolongeant l'espérance de vie d'un film.

[8] BAPTISTE Michel, *Une normalisation mondiale des dimensions d'enregistrement et de restitution des images sur films 35mm*, Dossier Technique de la CST N°27, octobre 2000.

2.3. La post-production numérique et le retour sur film

Prévus au départ pour les effets spéciaux, les outils numériques se généralisent dans le long métrage de fiction. A partir d'images sur pellicule, on peut employer le télécinéma ou le scanner comme deuxième étape de la créativité. Pendant le transfert par télécinéma, il est possible de manipuler l'image, l'étirer, zoomer sur un détail, retravailler la couleur ou créer des effets spéciaux. « *Les images électroniques standard, n'ont pas assez d'informations visuelles pour supporter ce genre de manipulation. Le télécinéma Spirit DataCine de Philips, le meilleur télécinéma du monde, utilise une technologie de barrettes de CCD, propriété de Kodak. Avec le film qui a une plus grande dynamique que n'importe quel système électronique, il est important d'avoir le télécinéma le meilleur pour transférer l'information à partir du film au format de production vidéo. C'est pourquoi Kodak et Philips ont passé un accord de développement pour combiner les deux technologies.* »[9], précise Jean Fabien Dupont. Mais aucune technologie ne peut répondre aux besoins de tous les créateurs et de toute l'industrie du cinéma. Les capacités de l'électronique à traiter et à manipuler les images offrent donc de nouvelles possibilités créatives, mais le film, pour sa grande qualité d'image, reste un support idéal de prise de vues pour une post production numérique. Michel Baptiste souligne cette idée en précisant : « *En effet, la tendance reste encore aujourd'hui au tournage sur pellicule négative 35mm (ou Super 16mm), puis à une postproduction numérique, avec retour au film pour l'exploitation en salle. Cette tendance de la postproduction numérique, avec ou sans retour au film, mais à partir de tournage sur film, est confortée par l'acquisition, pour les principaux laboratoires cinématographiques, de "téléscanners" qui permettent de numériser en TVHD ou en "numérique 2K" les films 35 mm.* »[10]. Toutefois, on peut déjà prédire que la haute définition va bouleverser cette habitude à court terme. En effet, nous avons vu que de plus en plus de films comme *Star wars episode II* ou *Vidocq*, ayants recours aux effets spéciaux et à l'étalonnage numérique, étaient tournés en haute définition. Je m'intéresserai donc dans cette partie au cas particulier des films tournés en 35 mm ou en HD, entièrement traités en numérique et projetés en 35 mm après retour sur film.

L'étalonnage est l'opération qui consiste à donner une unité de couleur et de densité à chacun des plans, tournés à des moments différents, pour uniformiser le rendu d'une séquence et de l'ensemble du film. L'étalonneur et le chef-opérateur effectuent cet équilibrage en laboratoire, en jouant sur les proportions de lumière rouge, verte et bleu lors du tirage de l'internégatif. En film, les valeurs de correction sont déterminées pour des lumières de tirage d'un élément 35 mm. L'étalonnage en vidéo numérique offre des possibilités supplémentaires : modification du contraste ou gamma, c'est-à-dire de la courbe de transfert pour chaque primaire, travail sur la colorimétrie par correction en teinte et en saturation d'une couleur en intervenant sur les primaires et les secondaires, remplacement d'une couleur par une autre, réduction du bruit de bande, modification du contour et travail sur une zone de l'image à l'aide de volets électroniques (Power Windows). En ce sens, on peut dire que l'étalonnage numérique est l'opération de base du travail des effets spéciaux.

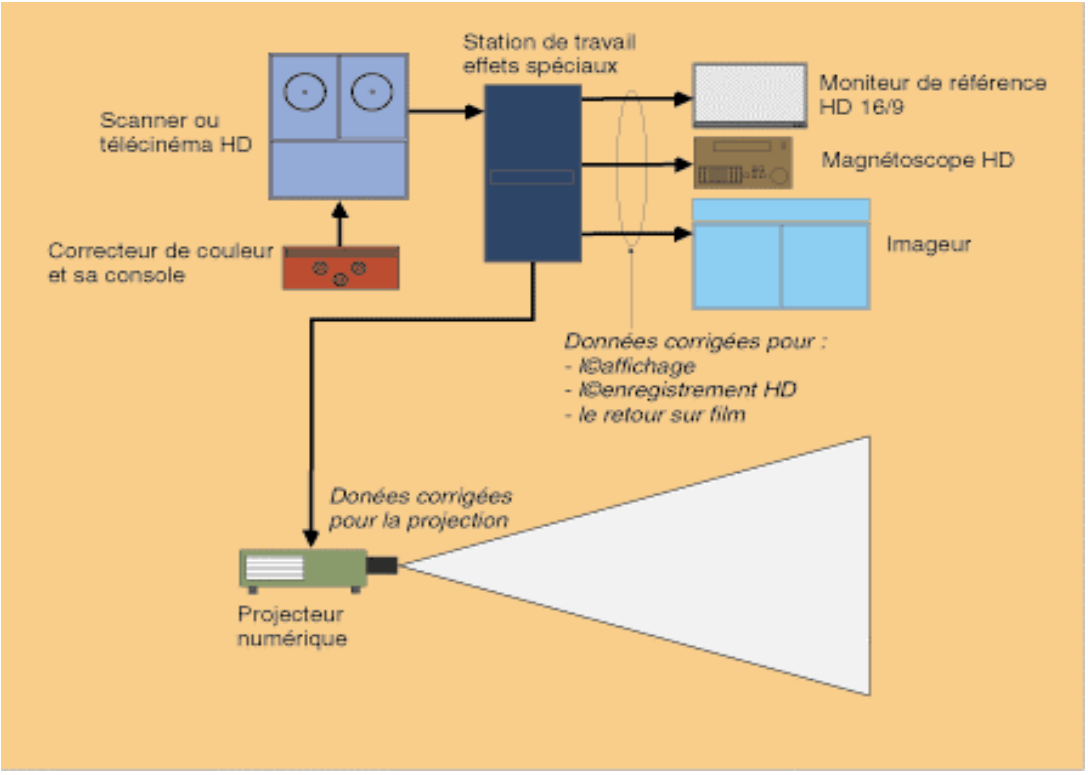
[9] DUPONT Jean Fabien (Kodak), *Le Film et le futur de la captation des images*, conférence publiée dans le SMPTE Journal (Society of Motion Picture and Television Engineer) et traduite par Matthieu SINTAS dans le Dossier Technique de la CST N°23, février 2000.
[10] BAPTISTE Michel, *Une normalisation mondiale des dimensions d'enregistrement et de restitution des images sur films 35mm*, Dossier Technique de la CST N°27, octobre 2000.

Pour étalonner en numérique un film tourné et projeté en 35 mm, on commence par numériser le négatif, conformément aux plans sélectionnés dans un pré-montage, à l'aide d'un scanner ou d'un télécinéma haute définition, puis on effectue l'étalonnage sur une station de travail pour finalement reporter l'ensemble sur pellicule 35 mm par l'intermédiaire d'un imageur. Pour conserver la cohérence et la prévisibilité des espaces de couleur standardisés par la CIE, les systèmes d'étalonnage numérique utilisent des fichiers « Color Profile » ou ICC (International Color Consortium) et des « Look Up Tables ». Actuellement, l'image numérique analysée en mode progressif est celle qui se convertit le plus simplement sur support film. Pour des aspects pratiques et économiques évidents, le format 2K s'est imposé sur le 4K comme format d'image film scannée. Le format d'image commun (CIF) à 1920 pixels par ligne représente seulement 6% de pixels en moins que l'image 2K à 2048 pixels par ligne. Si la numérisation en 2K et le traitement informatique dégradent sensiblement l'image originale, il en est de même pour une copie positive d'exploitation en bout d'une chaîne de traitement traditionnelle. En revanche, Roger Deakins, dans un article paru dans In Camera, exprime son regret de ne pas avoir scanné en 4K *O'brother, where art thou ?*, car dit-il : « *le scan en 2K impose des compromis dans la qualité des images finales* »[11].

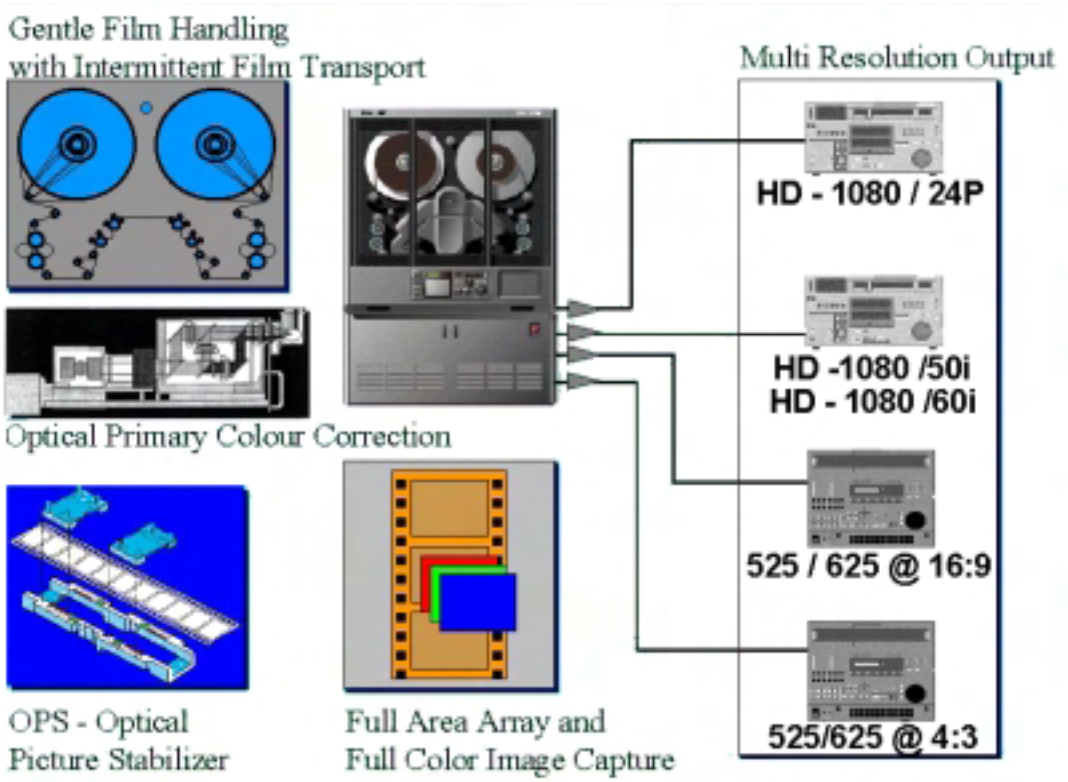
Parmi les matériels les plus utilisés actuellement pour le télécinéma et la numérisation en 2K ou 4K, on peut citer le Spirit DataCine de Philips et Kodak, commercialisé par Thomson Multimedia et complété de la console d'étalonnage Pandora dans la chaîne de post production Cinesite, le Cineon de Kodak, actuellement retiré du marché et le Vialta ou FVS 1000 de Sony, dédié au format CIF haute définition numérique, pour l'étalonnage numérique le Pogle ou le Da Vinci, et pour le retour sur film les imageurs comme le Solitaire Ciné 3 de Management Graphics, le Arrilaser ou encore l'EBR (Electron Beam Recorder) de Sony. Le Solitaire Ciné 3 est un imageur à CRT (Cathode Ray Tube) dont le principe consiste à utiliser un tube cathodique noir et blanc haute définition avec un spot très fin, pour exposer chaque image du négatif, par trois passages successifs au travers de filtres rouge, vert et bleu. Le système Arrilaser est conçu comme une lanterne de tirage additif, à la différence qu'il utilise trois faisceaux laser monochromatiques rouge, vert et bleu. L'EBR est le résultat du croisement d'un imageur laser et d'un imageur à CRT, car le faisceau d'électrons insole directement la pellicule.

[11] *How Roger Deakins and the Cohen Brothers explored new territory in the digital suite*, In Camera, octobre 2000.

Chaîne de post-production numérique [12]

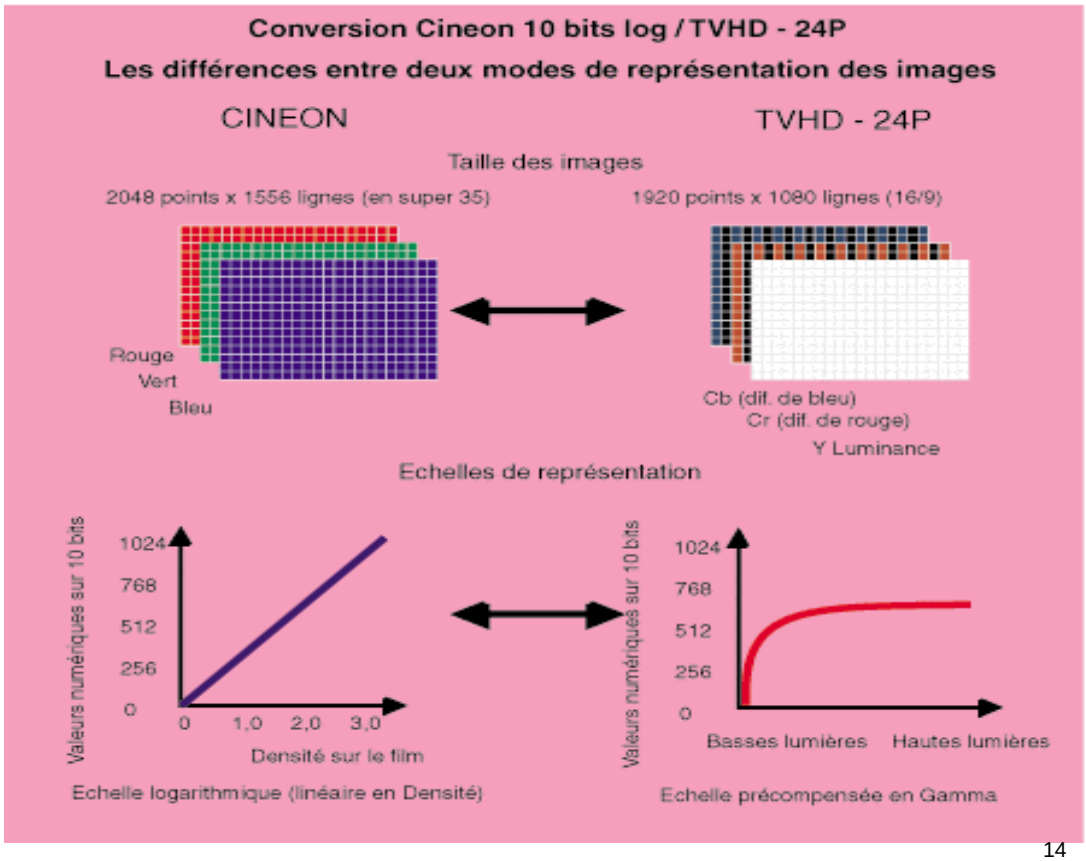


Télécinéma Sony FVS 1000 ou Vialta [13]



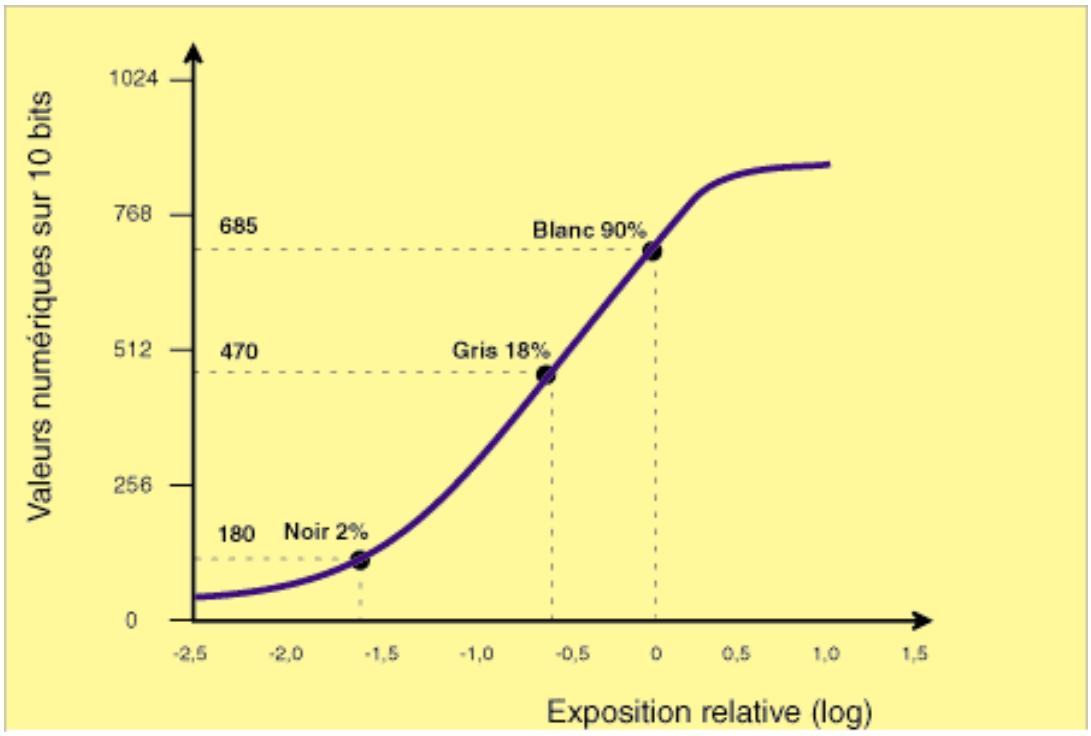
[12] DUCLOS Françoise (Kodak), *Gestion des couleurs dans le cadre des chaînes de traitement d'images numériques*, Dossier Technique de la CST N°18, juin 1999.
[13] D'après un document Sony.

L'étalonnage est basé sur un contrôle visuel et les conditions d'observation sont primordiales. Or, il est impensable en numérique d'imager l'intégralité de la pellicule et, comme en film, de tirer une copie de travail pour contrôler et réajuster l'étalonnage. Une bonne solution consiste à travailler avec un moniteur haute définition parfaitement calibré. Mais un moniteur n'a pas la même réponse qu'une projection film. S'ajoute à cela un problème de perception visuelle lié à la taille de l'image. Sur un petit écran l'œil évalue l'image d'une manière globale, alors qu'en projection il peut se déplacer dans l'image et suivre un détail. La solution idéale consiste à utiliser un projecteur numérique, même si ce dernier n'a pas non plus la même réponse qu'une projection film. Il faut donc trouver un compromis dans le calibrage de l'ensemble de la chaîne pour effectuer un étalonnage cohérent. L'étalonnage numérique se fait couramment à partir de formats informatiques dits « data » disponibles en sortie de scanner. Pour mesurer la quantité de lumière qui traverse le film, ces derniers sont équipés de capteurs CCD, qui sont linéaires en luminance et délivrent un signal proportionnel à la transmission du film. La résolution est de 2048 pixels par ligne, soit 2K, ou de 4096 en 4K, numérisés en 8, 10 ou 12 bits par couleur primaire rouge, verte et bleue. La numérisation est soit linéaire, soit logarithmique. Les valeurs numériques sont ensuite placées sur la courbe du film. Cette conversion numérique amène quelques distorsions dans la représentation de l'image qui sont essentiellement des erreurs d'arrondi. De plus, des conversions répétées de l'un à l'autre format ont des conséquences visibles sur la qualité de l'image. Pour cette résolution, le format le plus répandu aujourd'hui est le 10 bits log Cineon créé par Kodak. Dans les scanners l'utilisant, les données sont converties en une échelle logarithmique proportionnelle à la densité, qui présente l'avantage d'être proche de la réponse du film, c'est-à-dire d'exprimer des écarts de contraste importants pour des valeurs réduites, et de respecter notre perception. A noter que Kodak et Tiffen sont en train de développer un logiciel pour le Cineon permettant de simuler le rendu des filtres caméra Tiffen. Dans les formats de TVHD, le 1920 x 1080 est aussi dédié au grand écran. Sa résolution est très proche du format « data » des effets spéciaux et des équipements comme le Spirit DataCine et le Vialta l'utilisent. Sauf pour le 1280 x 720 hérité de la vidéo, il n'existe pas encore pour les formats supérieurs de solution « temps réel », autant pour les scanners et télécinémas que pour les traitements numériques et les imageurs. Pour atteindre le temps réel, il faut réduire le débit des informations à traiter suivant trois opérations : la numérisation sur 8 ou 10 bits au lieu de 12, le sous-échantillonnage des voies de chrominance dans un rapport de 2 : 1 et la compression, avec dans certains cas un sous-échantillonnage global de l'image.



14

Valeurs de numérisation d'un négatif au format Cineon [15]



[14] DUCLOS Françoise (Kodak), *Gestion des couleurs dans le cadre des chaînes de traitement d'images numériques*, Dossier Technique de la CST N°18, juin 1999.
[15] Document Kodak.

Actuellement, la durée d'un étalonnage numérique suivi d'un report sur film en haute résolution dépasse souvent celle d'un étalonnage traditionnel. Le temps supplémentaire de post-production doit être pris en compte par rapport à un étalonnage photochimique qui dure environ deux semaines. Si l'on veut exploiter les possibilités du numérique, il faut plus de temps, sans compter les opérations de numérisation (scan) et de report sur film (shoot). Pour donner un ordre d'idée, un long métrage de 90 minutes est constitué de 130000 images, ce qui représente 1300 Go de données numériques après transfert du film sur disque dur. Le tableau[16] ci-dessous rassemble les principaux types d'images, DV, HD et film, utilisés actuellement pour un tournage destiné à un report sur film. Il donne la taille d'un fichier image suivant le type de source et le poids des données pour un film de 90 minutes.

Format	Résolution	Poids d'une image	90 minutes
Vidéo 625 lignes 4:2:2	720 points x 576 lignes en luminance (Y) 360 points x 576 lignes en chrominance (P_r et P_b)	1 Mo (sur 10 bits)	130 Go
Vidéo HD	1920 points x 1080 lignes en luminance (Y) 960 points x 1080 lignes en chrominance (P_r et P_b)	5 Mo sur 10 bits à 24 images/s (24p)	650 Go
Cineon 10 bits log	2048 points x 1556 lignes (RVB)	10 Mo	1300 Go

Le temps de transfert est la durée des opérations d'acquisition des données et de report sur pellicule 35 mm. Le tableau[17] ci-dessous donne les valeurs de ces temps de transfert pour le scanner et l'imageur.

Scanner	Temps de transfert (film de 90 minutes)
Le plus lent : 25 secondes/image	540 h (25 jours 24h/24)
Le plus rapide : 5 images/seconde	8 h
Imageur	
Le plus lent : 40 secondes/image	1400 h (60 jours 24h/24)
Le plus rapide : 3,5 secondes/image	126 h (6 jours 24h/24)

Dans le secteur de la publicité, du téléfilm et du clip, on assiste depuis la fin des années 90 à un recours de plus en plus fréquent à l'étalonnage numérique. Cette tendance, qui peut paraître naturelle en vidéo et pour le traitement des effets spéciaux, s'étend aujourd'hui jusqu'au secteur du long métrage sous l'impulsion de réalisateurs et de directeurs de la photographie souhaitant bénéficier des mêmes fonctionnalités en film. Le premier exemple à avoir marqué l'histoire est américain et il s'agit de Lucas Film qui a étalonné en numérique la copie de *Star wars episode I* destinée à la projection numérique. Deux versions ont été faites, en fonction du type de projecteur. Aux Etats-Unis, la société Cinesite, propriété de Kodak, a développé un système d'étalonnage numérique utilisant deux scanners de type Spirit

[16] SINTAS Matthieu, *L'étalonnage numérique des films*, Dossier Technique N°22, janvier 2000.
[17] SINTAS Matthieu, *L'étalonnage numérique des films*, Dossier Technique N°22, janvier 2000.

Datacine et deux imageurs laser. Le Spirit DataCine de Philips convertit chacun des trois formats, 16 mm, Super 16 mm, et 35 mm dans tous les formats vidéo utilisés dans le monde aujourd'hui, y compris le 720p. Cinesite a, entre autres, effectué l'étalonnage de *O'brother, where art thou ?* de Joël et Ethan Cohen, premier long-métrage intégralement étalonné en numérique. Destiny 601, une société de Copenhague, a déjà étalonné en numérique trois longs métrages danois. En France, le dernier film de Jean-Pierre Jeunet, *Le fabuleux destin d'Amélie Poulain*, a lui aussi bénéficié de ce procédé. Des laboratoires comme GTC, Eclair ou Ex-Machina et des sociétés spécialisées comme Duboi développent des logiciels propriétaires mais il n'existe pas aujourd'hui de logiciel spécialement étudié pour l'étalonnage numérique.

Communément appelés VFX, les effets spéciaux en post-production ont eux aussi connu une véritable révolution depuis la fin des années 80. Les trucages numériques et les images de synthèse ont progressivement pris le pas sur les trucages traditionnels. Tourner directement en numérique facilite grandement la réalisation d'images truquées, particulièrement à partir d'une source haute définition. Cela permet tout d'abord un plus grand contrôle sur l'image grâce au moniteur HD, ce qui est très utile lors de l'utilisation de fonds d'incrustation. La réalisation des effets spéciaux en basse définition directement sur le plateau devient plus pratique à gérer pour l'équipe de truqueurs. Contrairement au cas d'un rush 35 mm scanné, la qualité de l'image haute définition est conservée à l'identique sur l'ensemble de chaîne numérique. En effet, comme nous l'avons vu pour l'étalonnage numérique, l'acquisition d'un film se fait couramment en 2K, ce qui est acceptable mais reste en-dessous de la résolution moyenne du film négatif 35 mm. La logique de travail en « tout numérique » a donc pour deuxième conséquence de faire chuter les coûts de production des VFX puisqu'il n'y a plus besoins de numériser les images. Enfin, la haute définition permet le mélange des formats argentiques et numériques. La combinaison avec différents formats vidéo numérique standards est également autorisée, lorsque la résolution de la haute définition n'est pas nécessaire. Ainsi Pitof déclare avoir tourné certains éléments de son film en DVCam. Sgi (Silicon Graphic Incorporated) est l'un des premiers fournisseurs au monde de systèmes informatiques hautes performances. Parmi les principaux secteurs de la société figurent le manufacturing, la vidéo et le broadcast (post-production, effets spéciaux, serveurs vidéo), les télécommunications, l'énergie et les sciences. Sgi propose une large gamme de produits travaillant en HD, depuis les stations de travail comme les O2 et Octane 2 jusqu'aux serveurs et supercalculateurs hautes performances à architecture modulaire et expansible comme les Onyx 3000 SGI 1450L et 1450M et SGI 1200L et 1200M sous Linux et Windows NT et l'Origin 3000 (1 à 512 processeurs). De nombreuses cartes HD pour stations Sgi, mais aussi pour plates-formes Windows, sont actuellement disponibles. En effet, il existe maintenant des configurations très puissantes sur PC, rivalisant avec les stations de travail de type Sgi.

Quand le chef opérateur et le réalisateur décident de donner une teinte particulière à l'image ou de créer des effets spéciaux, ils peuvent donc avoir recours aux outils numériques. Le choix se pose pour de telles productions de tourner directement en numérique avec un caméscope comme le Cinealta ou en 35 mm pour ensuite scanner le film. Une telle décision sera, à l'avenir, déterminée par le procédé offrant la meilleure rentabilité financière et par l'évolution des caméras

haute définition, des scanners et des imageurs, qui sont pour l'instant lents et coûteux. « *Incontestablement, la post-production deviendra numérique même si aujourd'hui encore, avec les équipements dont nous disposons, elle demeure coûteuse pour des films qui ne recherchent pas d'effets particuliers et peuvent se contenter d'une post-production classique* »[18]. A l'heure actuelle, les coûts de ces deux procédés étant très proches, la question se pose en terme esthétique. La texture des images numériques est lisse et leur rendu sur support film s'en ressent. On ne retrouve pas dans ce type d'images le « grain film » caractéristique de l'argentique. L'intégration transparente d'images issues d'une prise de vues sur support numérique haute définition à un film composé d'images issues d'une prise de vues sur support argentique 35mm est difficile à obtenir. Toutefois, on peut tenter de s'en approcher en respectant certaines directives imposées par le laboratoire qui effectuera le report sur pellicule 35 mm, également appelé « shoot ». Les paramètres d'éclairage, le type de sources utilisées, l'exposition, le travail sur la courbe sensitométrique et l'étalonnage à respecter pour faciliter un retour sur pellicule laissent beaucoup moins de latitude qu'en 35 mm. Certains affirment en effet que : « *La HD 24p n'est pas suffisante, ce n'est pas d 2K complet et elle ne possède pas la même profondeur dans l'échantillonnage des couleurs. Cela reste un signal vidéo à trame progressive et non un fichier numérique permettant un traitement très propre de chaque image prise isolément. La vidéo 24p n'est pas adaptée à la post production de qualité cinéma.* »[19]. En fait, tourner en vidéo numérique se résume souvent à paramétrer la caméra au mieux pour préparer un étalonnage optimal. Mais, sur ce point encore, on trouve plusieurs démarches, cette fois-ci chez les opérateurs. Ainsi, Philipe Ros, chef-opérateur, bénéficie d'une expérience approfondie sur les Digital Betacam et sur la HDcam. En dehors de son intérêt pour l'ensemble de la chaîne de production numérique, il s'est penché sur les possibilités de pré-étalonnage à la prise de vues, envisageables dans le cas de productions modestes. Son but était également, comme il le précise à propos de la HDcam, de « *pousser la caméra dans ses retranchements* »[20]. D'autres comme Pitof, Jean-Pierre Sauvère et Jean Rabasse ont concentré leurs efforts sur l'optimisation des réglages en vue d'une post-production très élaborée.

Le retour sur film par un imageur est donc une opération qui devient de plus en plus courante et performante mais qui reste coûteuse. Le kinéscopage, qui consiste à reprendre directement l'image d'un écran vidéo avec une caméra film, est bien sûr moins coûteux mais aussi de moins bonne qualité. « *Toujours dans le cas d'un film tourné et projeté en 35 mm, l'investissement global pour : le scanner, le correcteur colorimétrique, le super calculateur, l'imageur et le magnétoscope haute définition, représente à peu près 15 MF. La prestation équivalente en photochimique, qui comprend aussi le développement des négatifs, tirage et étalonnage des inter et une copie de travail, est actuellement facturée environ 450 KF pour un film de 90 minutes.* »[21]. En effet, sur le plan financier, un tournage en 35 mm accompagné d'un retour sur film ne présente aucune économie dans les coûts de production. Au contraire, il revient plus cher si l'on considère le prix du kinéscopage de l'intégralité d'un long métrage. La question est de savoir quel surcoût est acceptable pour une post-production numérique et quelle production

[18] *L'intermédiaire numérique au service de la création*, Actions N°13, automne 2000.
[19] *L'intermédiaire numérique au service de la création*, Actions N°13, automne 2000.
[20] Conférences du « *Festival Cinealta* » (Sony France), 11 et 12 octobre 2000.
[21] DUCLOS Françoise (Kodak), *Gestion des couleurs dans le cadre des chaînes de traitement d'images numériques*, Dossier Technique de la CST N°18, juin 1999.

sera capable d’en payer le prix. Il est difficile de rentabiliser une telle prestation, mais les avancées récentes de la projection numérique pourraient grandement aider le développement du cinéma numérique. En effet, les problèmes que je viens d'évoquer sont principalement liés aux mélanges des technologies photochimiques et numériques. Dans la perspective d’avenir d'un tournage et d'une diffusion entièrement électroniques, l'étalonnage numérique s'insèrera aussi naturellement que l'étalonnage photochimique dans les laboratoires traditionnels. Le coût de le chaîne « tout numérique » va évidemment se démocratiser, à l’insu de la post-production numérique à partir de rushs 35 mm. Pour les mêmes possibilités créatives offertes par le numérique, il sera bientôt plus facile et beaucoup moins onéreux de tourner directement en HD. Reste à savoir si cette solution deviendra une réalité sur une durée compatible avec l'amortissement des équipements.

3. La vidéo numérique haute définition aujourd’hui

Actuellement, le monde du numérique et le monde du cinéma se heurtent frontalement en un conflit dont l’enjeu n’est pas simplement technique mais surtout économique. L’image numérique de résolution 1920 x 1080 est proche du 2K qui est reconnu comme format d’analyse de film. Pour l’instant, l’exploitation d’un film tourné en HD/24p passe forcément par le retour sur film en fin de chaîne grâce, par exemple, au Arri Laser. Malheureusement, lors des différentes présentations professionnelles organisées en France (journées Cinealta et conférence du Satis), il n’y a pas eu de projection en 35 mm d’images tournées en HDcam puis imagées sur film. En attendant la sortie de *Vidocq*, on peut aisément croire Pitof qui déclare que le rendu de ce type d’images est différent de celui d’images tournées en 35 mm. Le mélange et le transfert des formats sont devenu pratique courante, l’œil du spectateur s’habituant progressivement à la dynamique des images numériques « adoucies » par le report sur pellicule.

D’autre part, la technologie 24p et son adaptabilité à de multiples formats offrent de nouvelles ouvertures à des partenariats orientés vers la production et les échanges de programmes internationaux. Une coproduction entre un pays 50 Hz et un pays 60 Hz devient techniquement beaucoup plus simple. Désormais toute la souplesse du numérique est offerte à des productions exigeant la qualité cinéma. Bien entendu, les économies de budget ne sont pour l’instant pas notables et elles dépendront bien évidemment des styles de film. Le Cinealta 24p de Sony est particulièrement adapté à des films de fiction plus modernes, plus dynamiques, incorporant plus facilement des effets spéciaux. Le DVC Pro 100 HD de Panasonic, de par son encombrement réduit, se veut plus adapté aux fictions télévisuelles.

3.1. Les origines

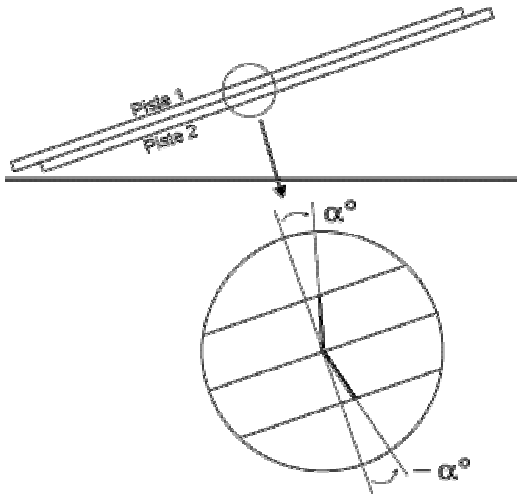
Enregistrer les images analogiques diffusées lors des débuts de la télévision, vers 1938 en France, a longtemps été un défi technique impossible à relever. C'est ainsi que les fictions, mais aussi les actualités, ont été filmées en 16 mm pendant de longues années. Les fictions le sont encore majoritairement, aujourd'hui en Super 16 mm, mais il s'agit d'un choix technique et non d'une obligation. Il faudra attendre

1956 pour que soit commercialisé le premier magnétoscope noir et blanc, alors que les émissions en couleur ont commencé en 1953 aux Etats-Unis. Cette situation vaudra aux télécinémas d'être utilisés comme machine de diffusion des films jusque dans les années 80. Quelques inventions de base ont marqué les grandes étapes de l'évolution des magnétoscopes, de l'analogique au numérique, et ont permis d'obtenir les formats compacts et peu coûteux que l'ont connaît aujourd'hui.

La cassette permet une manipulation facile des enregistrements et le déchargement de la bande sans qu'il soit nécessaire de rembobiner au début. La difficulté technique dans la conception des magnétoscopes à cassettes réside dans la réalisation du mécanisme de chargement qui devra sortir la bande pour l'enrouler autour du tambour. Plus cet enroulement est important et plus le mécanisme de chargement devient compliqué. Dans certains cas, comme l'enroulement α où la bande fait un tour complet autour du tambour, l'usage des cassettes est impossible. Le choix, à l'origine, de deux têtes et d'un enroulement à 180° permet un chargement facile.

L'invention de l'azimut incliné alterné marque également une étape importante de l'évolution de la vidéo. « *Dans les vieux formats analogiques comme le 2" Quad, le 1"B et le 1"C, les têtes vidéo ont un azimut perpendiculaire aux pistes et il faut ménager un espace de garde entre les pistes pour éviter la diaphonie. Pour les formats qui ont un nombre de têtes pair, l'azimut de chaque tête est incliné de quelques degrés (en général 15° maximum) en inversant le sens une tête sur deux, de manière à ce que deux pistes jointives aient des azimuts "croisés".* »[22]. Ce procédé réduit suffisamment la diaphonie pour qu'il soit possible de supprimer l'espace de garde entre les pistes. Il en résulte une économie importante de la consommation de bande et une autonomie d'enregistrement accrue. Cette technique est toujours utilisée par les magnétoscopes numériques.

L'azimut incliné alterné [23]



Enfin, les composantes analogiques, apparues en 1982, ont été un progrès significatif qui a permis de réaliser des effets de plus en plus complexes, mélanges, incrustations sur fond bleu, etc. La norme technique N10 de l'UER définit les trois

[22] SINTAS Matthieu, *Les formats d'enregistrement vidéo numériques*, Dossier Technique de la CST N°20, octobre 1999.
[23] SINTAS Matthieu, *Les formats d'enregistrement vidéo numériques*, Dossier Technique de la CST N°20, octobre 1999.

signaux des composantes analogiques qui sont obtenus à partir des signaux primaires rouge vert et bleu pré-corrigés en gamma :

- Y : signal de luminance (avec synchro)
- R-Y : signal de différence de couleur rouge (sans synchro)
- B-Y : signal de différence de couleur bleue (sans synchro)

Aujourd'hui, les formats haute définition enregistrent toujours ces mêmes signaux mais sous forme numérique et avec une résolution supérieure.

3.2. Les avantages de la haute définition

« *De nombreux points communs peuvent être trouvés avec les outils vidéo. Il faut bien voir que la vidéo, elle-même, a évolué drastiquement au cours de ces dernières années. Limitons-nous donc aux technologies récentes numériques. Autour de la vidéo, il se dégage rapidement les termes de simplicité et de souplesse. Ces points se retrouvent dans la vidéo numérique haute définition. Les copies se font simplement avec deux magnétoscopes. Visionner ne requiert aucune manipulation complexe. Le caméscope peut être paramétré ou rapidement remis aux réglages standards. Le montage off-line est une pratique standard très optimisée. Les matériels sont de mêmes dimensions que les équipements Betacam ou Digital Betacam, on retrouve immédiatement les mêmes accessoires et systèmes autour des produits. Toutes les facilités qu'apporte un média amovible, peu encombrant, tel que la cassette, sont hérités de la vidéo* »[24], déclare Pascal Kerloch. Il est bien entendu possible en vidéo d'enregistrer plusieurs fois sur la même cassette, chose impensable en argentique. Le principe fondamental du numérique est qu'il possède toutes les caractéristiques des fichiers informatiques et se recopie sans perte. L'avantage essentiel du numérique par rapport au film est donc qu'il évite toutes les étapes entre un négatif de tournage et un positif de projection, ce qui permet de supprimer toutes les pertes de définition intermédiaires. En effet, il ne faut pas oublier qu'en film, la seule résolution qui compte est celle du positif de projection, qui est loin d'atteindre celle du négatif de prise de vues. En haute définition, une infinité de duplicata peuvent être réalisés via un mode de copie appelé SDTI. Le tournage en Cinealta gagnerait alors en rentabilité car pour l'instant, d'après Pitof, l'utilisation d'une telle caméra ne permet pas de faire de grande économie par rapport au tournage sur support argentique.

Il est aussi très simple et sans danger de changer de support, tantôt cassette, tantôt serveur, via des réseaux de téléphonie à hauts débits. Les transports et l'archivage sont ainsi facilités. Il faut souligner ici l'énorme avantage du numérique par rapport au film quant à ce genre de manipulations. Les trucages étant facilement appliqués sur des rushes numériques, ces nouveaux moyens de production, amèneront certainement les effets spéciaux à la portée des budgets de nos productions hexagonales. Mais le capteur d'une caméra numérique est un dispositif électronique alors que l'émulsion film est un dispositif photochimique. La résolution de la HD est encore en-dessous de celle du film, d'autant plus qu'il y a de la compression dans la plupart des systèmes, sauf dans le magnétoscope D6 VooDoo de Philips et dans le prototype de caméra LDK 7000 de Thomson. Toutefois, pour permettre un tel progrès dans la qualité des images vidéo et pour faire face aux énormes débits numériques générés par le grand nombre de pixels,

[24] KERLOCH Pascal, *L 'image numérique toujours plus haut* , Sonovision N°444, octobre 2000.

les nouveaux outils haute définition utilisent une technologie différente des traditionnels Pal, Secam, NTSC et même des composantes numériques SDI 625 lignes ou 525 lignes. Toutefois, la plupart des magnétoscopes HD sont encore équipés de convertisseurs (down-converter) qui permettent une copie en Pal ou en NTSC, ceci à des fins de visionnage ou de montage off-line.

Les performances sont très différentes entre une caméra 1080i équipée d'un zoom électronique de télévision et une caméra 24p munie d'une optique film. Peter Wilson, de Snell & Wilcox, a énuméré les avantages et les inconvénients du 24p : « *Au tournage, les longueurs focales liées à la faible taille du capteur CCD ne favorisent pas l'obtention d'une profondeur de champ réduite, d'autant que le séparateur optique RVB limite l'ouverture maximale à 1,6. Le viseur électronique ne permet pas le cadrage du hors champ comme un viseur optique de caméra film. De plus, il montre l'effet stroboscopique du 24 Hz. Les solutions sont l'utilisation d'optiques à grande ouverture, accompagnées de filtres de densité neutre en cas de forte intensité lumineuse et la mise au point de caméra avec viseur optique. Pour les moniteurs, l'affichage à 48 Hz en segmented frame réduit l'effet stroboscopique (judder), et à 72 Hz le flicker* »[25]. Les équipements HD 60 Hz sont souvent commutables en 24p, grâce au CIF (Common Image Format) et au CDR (Common Data Rate), et les convertisseurs de formats permettent tous les transferts avec un bon niveau de qualité. Ces équipements sont disponibles grâce à la forte demande émanant des États-Unis et du Japon. Mais les hauts débits de la HD et du 24p nécessitent une réduction de débit dans les appareils de prise de vues et en diffusion : « *Le Mpeg-2 est généralement utilisé, car il est standardisé et permet de conserver un bon niveau de qualité. La technologie Mole permet de transmettre dans le signal image les paramètres de la première compression jusqu'à la dernière. En cas de compressions en cascade, la dégradation de qualité est minimale. Un décodeur Mpeg-2 compatible Mole inclut ces paramètres dans le signal vidéo décompressé. Les décisions de codage (comme la structure de blocs) sont ainsi transmises au codeur chargé de recompresser le signal. On retrouve des technologies similaires chez Sony ou Thomson avec le Helper Channel.* »[26].

3.3. La future HDTV

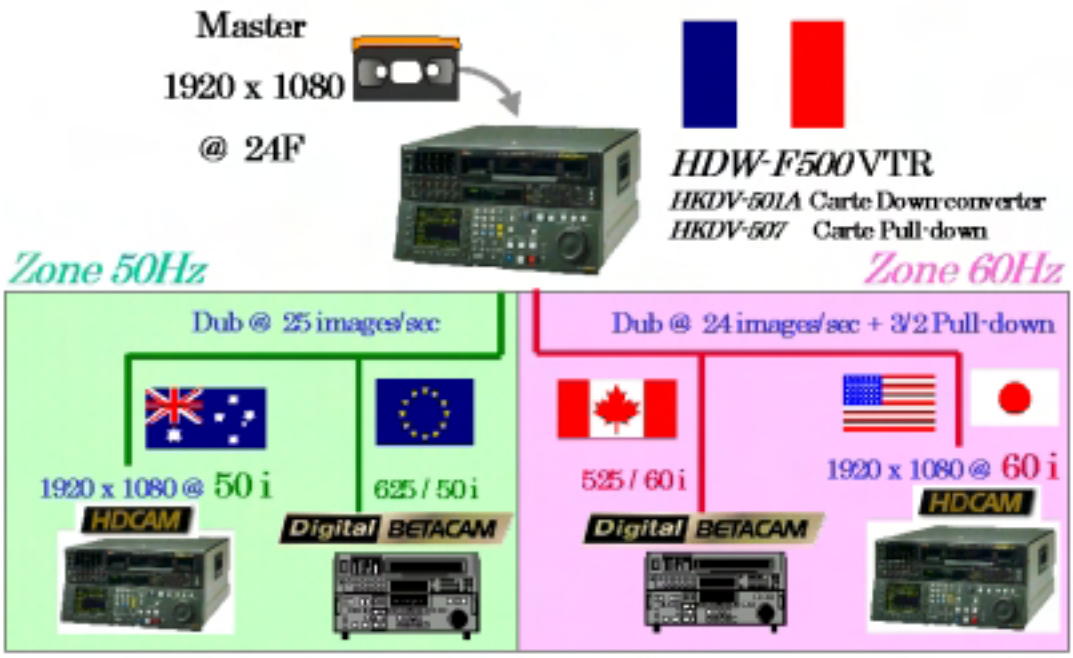
Depuis une vingtaine d'années, l'industrie mondiale de la télévision parle de HDTV et le projet initial a connu de nombreux bouleversements. Récemment, grâce à l'impulsion du numérique, une norme mondiale a décidé que le futur de la HDTV serait dans les formats numériques. Cette norme annonce aujourd'hui un ou des standards universels. Mais il y a des problèmes potentiels ou au moins des questions qui demeurent sans réponses : « *Aujourd'hui, nous ne savons toujours pas dans quel format ces images numériques de haute qualité seront transmises jusqu'aux écrans des téléspectateurs. Tandis que l'Europe attend de voir, la Commission Fédérale des Communications aux Etats-Unis (FCC) a pris quelques décisions importantes en avril 1997 (…). Elle a annoncé qu'en 2006, toute la diffusion télévisuelle aux Etats-Unis serait numérique. Cette année-là, la télévision numérique (DTV) rendra toute la technologie actuelle des émetteurs et de nos récepteurs obsolètes (…). S'il n'y a pas assez de consommateurs équipés de TV*

[25] BOSQUILLON Sophie et PIGEON Jacques, *La HD numérique et le 24p*, Dossier Technique de la CST N°26, juin 2000.
[26] BOSQUILLON Sophie et PIGEON Jacques, *La HD numérique et le 24p*, Dossier Technique de la CST N°26, juin 2000.

numérique, cette date sera repoussée. Plus important, la FCC a renoncé à la lutte pour des normes techniques communes. Elle n'a pas décidé de la norme pour la DTV, de la fréquence de balayage, du format d'image, du nombre de lignes de résolution, etc. Au lieu de cela, elle a approuvé une variété des formats proposés, et a indiqué que le marché devrait décider lequel s'imposera. »[27], souligne Jean Fabien Dupont. Cela signifie que la télévision numérique peut être haute définition (HD), définition standard (SD), écran large 16/9 ou 4/3. Les radiodiffuseurs voulant offrir de meilleures images en numérique qu'en analogique, on peut supposer que leurs programmes seront bientôt disponibles dans plusieurs formats numériques.

Pour ce faire, les différents formats de HDTV mis en place de part le monde peuvent être obtenus à partir d'un signal HD 24p en 1920 x 1080. Actuellement, les chaînes de télévision NTSC, Pal ou Secam peuvent recevoir dans leur standard propre, un prêt à diffuser (PAD) tiré d'un master unique en 24p. Il en est de même pour le DVD, qui préserve en plus le format 16/9 de la HD mais pas sa résolution ! Ainsi, tourner pour la télévision dans le format 24p présente deux avantages. D'une part, grâce aux magnétoscopes équipés d'une carte, le signal se convertit automatiquement selon les exigences des chaînes de télévision en Pal, Secam, NTSC, 50 Hz ou 60 Hz. Une coproduction entre deux pays 50 Hz et 60 Hz pourra donc se faire en numérique 24p. D'autre part, tout comme le film 35 mm, ce format s'adapte parfaitement aux exigences de qualité des futurs récepteurs de télévision HDTV grand public. Certaines chaînes regretteront alors d'avoir tourné leurs programmes de stock en 16 mm et en Digital Betacam car la définition de ces formats est inférieure à celle de ces futurs récepteurs. A ce titre, de nombreuses séries télévisées sont déjà tournées ou post-produites en HD outre-atlantique.

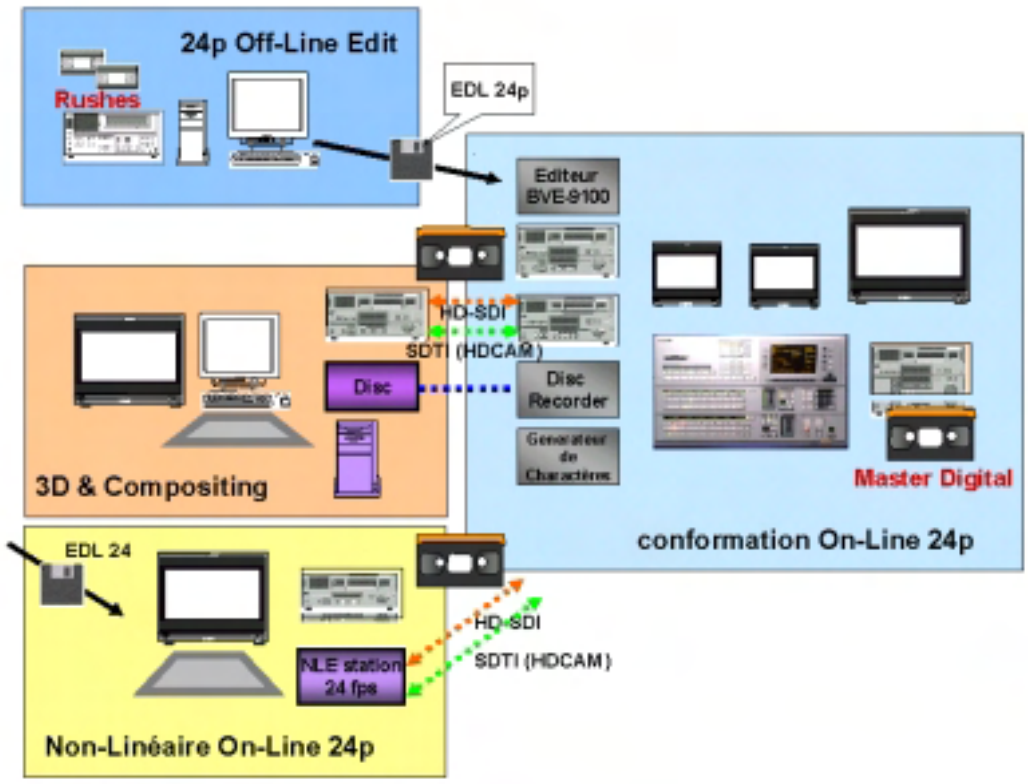
Distribution mondiale de programmes [28]



[27] DUPONT Jean Fabien (Kodak), *Le Film et le futur de la captation des images*, conférence publiée dans le SMPTE Journal (Society of Motion Picture and Television Engineer) et traduite par Matthieu SINTAS dans le Dossier Technique de la CST N°23, février 2000.
[28] D'après un schéma Sony.

Parmi les acteurs de la HDTV, Chyron Pro Bel est un constructeur de logiciels d'habillage, de mélangeurs, de régies et de grilles de commutation dont la gamme s'étend aujourd'hui à la HDTV. Les mélangeurs HD actuels permettent l'application d'effets de transition en temps réel, ainsi que les opérations de base comme les corrections colorimétriques et les interventions sur le gamma.

Post-production télévisée en 24p [29]



4. L'évolution des métiers et les pratiques professionnelles

Au cours de l'histoire du cinéma, les métiers n'ont cessé d'évoluer. Chaque évolution technique a engendré une mutation des professions. L'arrivée du parlant a fait couler beaucoup d'encre. Jusque dans les années 60 l'opérateur faisait le cadre et la lumière et avait un opérateur adjoint qui cadrait sur la deuxième caméra. Le passage des caméras Mitchell aux nouvelles caméras de cinéma plus perfectionnées et plus intégrées comme la Arri BL ou la Panaflex fut à l'origine d'une révolution dans les métiers et les habitudes professionnelles. Aujourd'hui, la Panavision Millenium, la Arri 5-35, la Arricam ou l'A-minima poursuivent dans cette voie mais le réel changement s'opère avec l'arrivée des caméscopes numériques. Comme la Betacam numérique avant lui, le caméscope Cinealta apporte de nombreuses modifications quant au rôle de chacun sur un plateau. Ainsi, une nouvelle technologie est toujours comparée avec celles existantes au jour où elle arrive sur le marché. « *Le concept du Cinealta ne conduit pas à bouleverser les habitudes*

[29] D'après un schéma Sony.

et les méthodes de travail, mais à pousser plus loin les limites actuelles. Il permet de conserver la méthodologie de production de films qui a déjà fait ses preuves. A cela il ajoutera sans doute une plus grande liberté dans le travail de plateau. »[30], écrit Pascal Kerloch dans L'image numérique toujours plus haut. La conférence du Satis 2000 Le cinéma numérique vu par ses utilisateurs. De Pitof à Wim Wenders, a permis de faire le point avec Pascal Kerloch de Sony France sur le format 1080/24p, la production en haute définition avec Pitof, réalisateur de *Vidocq*, premier long-métrage de fiction entièrement tourné avec la caméra numérique haute définition HDW-F900 de Sony, la post-production avec Pascal Giraud, directeur de post-production de Rigolo Films 2000, producteur de *Vidocq*, Antoine Simkine, PDG de Duboicolor, Eric Bléreau de VDM, et la projection numérique en salle avec Jean-Yves Rabet, responsable de la projection numérique chez Gaumont. Au cours du Forum européen du film numérique, « Songe d'une nuit DV » , qui s'est déroulé les 17, 18 et 19 novembre 2000 à Saint-Denis, en plus des projections de 24 films européens inédits, des professionnels se sont réunis pour s'interroger sur l'avenir et l'influence des nouvelles technologies sur notre profession. Pitof, Tommaso Vergallo, directeur des productions Duboicolor, le producteur de Galatée Films Jean de Tregomain, l'ingénieur du son Pascal Chedeville, les réalisateurs, René Feret, et Tomas Petran et les chefs opérateurs Jean Robert Viallet et Jean-François Robin étaient présents. Le débat « La qualité est-elle soluble dans le numérique ? » a permis d'entendre Pitof s'exprimer sur son expérience du tournage en haute définition. Voyons donc, en fonction des métiers, ce qu'apporte ce nouvel outil.

4.1. Le réalisateur

Après le tournage en 24p du clip de U2 *The ground beneath her feet*, Wim Wenders déclarait : « *La 24p a réellement créé son propre royaume, avec un look et une esthétique (…). Tourner avec un moniteur HD sur le plateau est une vraie drogue* »[31]. En effet, le réalisateur n'est plus gêné par le rendu médiocre de la visée vidéo des caméras film. Il peut contrôler le rendu du travail du chef opérateur, enregistrer et revoir facilement la prise afin de déterminer s'il est nécessaire de la refaire. « *Le contrôle instantané de l'image sur le plateau est possible. L'équipe, réalisateur - chef opérateur, est affranchie de tous délais avant de voir les rushs. En effet, la relecture immédiate de chaque prise, est un atout notable. On contrôle la pleine qualité, en numérique et en couleur, dès que cela est nécessaire. Cette pratique peut être généralisée à toutes les prises ou seulement réservée pour contrôler un raccord lumière ou revoir une prise de vue délicate et difficile.* »[32], déclare Pascal Kerloch. Tourner en 24p permet aussi de ne plus avoir à ce soucier de la quantité de pellicule utilisée. C'est un réel confort psychologique et une liberté supplémentaire pour le réalisateur. Toutefois, multiplier les prises et les axes présente toujours le risque d'allonger la durée de tournage et de post-production. A la suite du tournage de *Vidocq*, Pitof relatait son expérience de la HD en disant : « *Ma première surprise, lors des essais, a été de constater la grande sensibilité de la caméra en basses lumières. Ceci m'a permis de minimiser les éclairages et de capter toute la réalité de l'instant. Sans compter que le tournage en vidéo est beaucoup moins contraignant (grâce à des cassettes de longue durée), et qu'il permet un visionnage immédiat des scènes enregistrées. De surcroît, pour un film*

[30] KERLOCH Pascal, *L 'image numérique toujours plus haut* , Sonovision N°444, octobre 2000.
[31] Scene to screen, automne 2000.
[32] KERLOCH Pascal, *L 'image numérique toujours plus haut* , Sonovision N°444, octobre 2000.

tel que « Vidocq » dont 80% des scènes sont retravaillées en post-production, l'acquisition en numérique évite les opérations de transfert, ce qui représente un gain de temps et d'argent considérable. »[33]. Joël Santoni, réalisateur de la série télévisée *Une famille formidable,* tournée en Digital Betacam, déclare que ce genre d'outil laisse plus de liberté créatrice au metteur en scène. Il s'explique en argumentant : « *Le numérique est une sorte de Viagra pour les réalisateurs de télévision. Je suis un réalisateur rapide et pour moi cela est très intéressant. Cela me donne le moyen de refaire des choses. Avec le film, vous ne pouvez parfois rien faire si vous n'êtes pas satisfait des rushs, parce que vous les recevez 48 heures plus tard et vous n'êtes plus sur le même décor. Avec le Digital Betacam, vous pouvez voir les résultats pendant la prise de vues.* »[34].

4.2. Le directeur de la photographie

Jean-Francis Gondre, chef opérateur de la série télévisée *Une famille formidable* et du téléfilm *La vocation d'Adrienne* travaille en Digital Betacam. Il déclare : « *Sur un procédé qui est tout à fait nouveau, il faut savoir qu'entre votre appareil, c'est-à-dire l'électronique de la caméra, les moniteurs sur lesquels vous allez travailler, (…) l'un réservé à la prise de vues, l'autre pour la mise en scène, et selon le lieu, le laboratoire pour la finition avec lequel vous allez travailler, il est très important que cette chaîne soit cohérente, étalonnée et vérifiée tous les matins. (…) Ce qui a l'air très étrange pour un opérateur c'est que la cellule a disparu complètement (…) et l'image se construit sous vos yeux sur un écran numérique (…), cela ne supprime pas, loin de là, le travail de finition.*»[35]. Un moniteur HD numérique de référence parfaitement étalonné est indispensable sur un plateau. Il devient un outil fiable pour le contrôle de l'exposition et de la colorimétrie : il donne un rendu de l'image identique à celui enregistré par la caméra. Il permet donc au directeur de la photographie de dialoguer avec l'étalonneur à partir de la même référence visuelle. La conception de la lumière et sa construction sur le plateau reste la même qu'en film mais la méthode et l'organisation du travail sont sensiblement différentes. En effet, l'image doit être parfaitement posée car la vidéo numérique n'offre qu'une faible latitude de pose comparée à la pellicule. Le chef opérateur peut ranger sa cellule et contrôler en permanence son travail sur le moniteur, mais le premier point à déterminer est le ou les choix de valeurs d'exposition. Ensuite, s'il est aidé d'un assistant opérateur ayant des compétences proches de celles d'un ingénieur de la vision, un pré-étalonnage peut se faire à la prise de vues grâce au réglage des paramètres électroniques de la caméra. Ces paramètres ne concernent pas uniquement l'exposition et la colorimétrie mais aussi la recherche d'une dynamique et d'un contraste proche de l'image fournie par une émulsion film. Ainsi, Philippe Ros, chef opérateur, s'est depuis longtemps intéressé aux menus des Digital Betacam, et récemment de la HDcam : « *Je suis rentré dans les menus pour éclaircir des zones de l'image et pour redonner des valeurs de contraste (…), c'est ça l'intérêt de cet outil, c'est qu'on a tout d'un coup une possibilité assez grande d'intervenir dans des situations difficiles* »[36]. Toutefois, il est nécessaire que l'opérateur ou l'assistant contrôle en permanence l'image durant les prises.

[33] Sony Vision N°31, novembre 2000.
[34] Site www.pro.sony-europe.com, septembre 2000.
[35] GONDRE Jean-Francis, conférences du « *Festival Cinealta* » (Sony France), 11 et 12 octobre 2000.
[36] ROS Philippe, conférences du « *Festival Cinealta* » (Sony France), 11 et 12 octobre 2000.

4.3. Le superviseur des effets spéciaux

Il est déjà courant que le superviseur des effets spéciaux se déplace sur le plateau pour assister l'équipe dans le tournage de plans qui seront truqués en post-production. Mais grâce au caméscope Cinealta, il pourra travailler les images en basse définition et en temps réel sur un ordinateur portable et donner une pré-visualisation des effets spéciaux sur le plateau. De plus, il décidera de tourner certains éléments en HDcam, en Digital Betacam ou encore en DVcam selon les nécessités. En effet, un élément qui va être réduit en taille puis intégré en post-production dans un plan ne nécessite pas forcément d'être tourné dans un format de haute résolution. A ce titre, Pitof a eu recours, durant le tournage de son film, à différents types de caméras vidéo, allant de la paluche raccordée à un enregistreur DVcam jusqu'à la HD, en passant par des caméras DVcam de type PD-100, le tout étant finalisé sur un support HDcam.

4.4. L'assistant opérateur « ingénieur de la vision »

Dans le cadre d'un tournage en vidéo numérique haute définition, l'assistant opérateur occupe une fonction qui, sous certains aspects, peut se rapprocher de celle de l'ingénieur de la vision en télévision. A l'heure actuelle, on peut voir des tournages où les deux postes coexistent, à moins que ce ne soit le premier assistant opérateur qui remplisse ces deux fonctions. Toutefois, ce dernier conserve un rôle remarquablement différent et ne se transforme pas en véritable ingénieur de la vision tel qu'on le conçoit en télévision. Avec l'avènement du « cinéma numérique » on assiste donc à une évolution du métier d'assistant opérateur qui requiert dorénavant des compétences en vidéo, en électronique, mais aussi en informatique. En effet, Jean-Francis Gondre met l'accent sur la « *formation des assistants opérateurs (...) qui deviennent en parallèle ingénieurs de la vision (…), le mot « ingénieur de la vision » est peut-être un peu fort (…), c'est simplement quelqu'un qui sait gérer l'électronique de la caméra, l'ordinateur que représente cette caméra, et qui sert à entrer un certain nombre de filtres et de programmes à la demande de l'opérateur (…). C'est une équipe à trois, c'est-à-dire que dans ce cas précis j'étais opérateur-cadreur, donc j'avais quelqu'un qui était en permanence au contrôle derrière le moniteur, isolé dans le noir, le rôle du premier devenant celui d'ingénieur de la vision* »[37]. Comme avec la Betacam numérique, l'assistant est responsable des réglages internes de la caméra. Il doit donc apprendre à effectuer les réglages appropriés sur la caméra en fonction des volontés esthétiques du chef opérateur. Les optimisations sont réalisées en temps réel avant chaque prise de vues, souvent par l'intermédiaire d'une télécommande reliée à la HDcam : la RM-B150. L'assistant opérateur participe ainsi à la création de l'image du film. Son travail se rapproche alors de celui d'un ingénieur de la vision, responsable de la bonne qualité du signal. Ainsi, trois moniteurs sont nécessaires : un pour l'image seule, un pour l'affichage des menus et un pour la mise en scène. Pour obtenir de meilleures conditions de visionnage, l'assistant peut être isolé avec les moniteurs sous un borniol noir, constituant une tente, ou parfois même dans un mini car régie. Lorsque la production le permet, comme ce fut le cas pour *Vidocq*, il est préférable qu'il y ai trois assistants : un pointeur chargé du réglage des menus,

[37] GONDRE Jean-Francis, conférences du « *Festival Cinealta* » (Sony France), 11 et 12 octobre 2000.

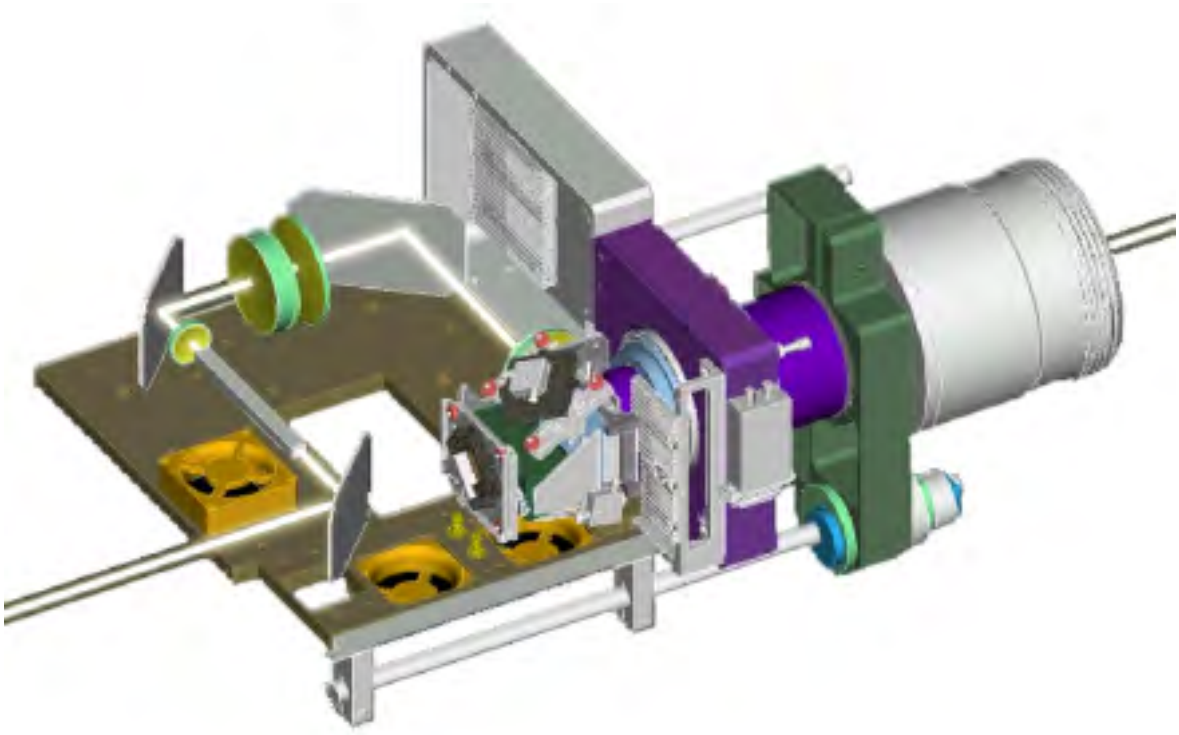
un second aux moniteurs auprès du directeur de la photographie, et un troisième s'occupant des accessoires et des cassettes. Grâce au tournage en numérique, le second assistant opérateur se voit déchargé du travail long et fastidieux du compte pellicule : plus de stock ni de chutes à gérer, plus de changements d'émulsion. L'autonomie de la cassette permet de ne plus avoir à interrompre le tournage aussi fréquemment : 40 minutes en 30 images/s et 50 minutes en 24 images/s (pour les petits boîtiers). De la même manière que l'on numérote consciencieusement les bobines de film, il convient d'être rigoureux quant à l'identification des rushs. Ainsi, on numérote les cassettes en utilisant le time code.

5. La distribution, l'exploitation et la diffusion

Les nouveaux projecteurs numériques utilisant la technologie des micro-miroirs DLP (Digital Light Processor) développée par Texas Instruments permettent d'entrevoir l'avenir proche d'une chaîne de production cinéma « tout numérique ». Un tel processus permettra de garder la même qualité depuis le tournage jusqu'à la projection en salle et surtout évitera les opérations de retour sur film. Sur ce point, le tournage en haute définition gagnerait en rentabilité car pour l'instant, d'après Pitof, le recours à ce moyen de prise de vues ne permet pas de faire de grandes économies par rapport au tournage en 35 mm. Les récentes projections numériques de *Toy story 2* et *Les rivières pourpres* au Gaumont Aquaboulevard, la projection comparée 35mm / numérique du congrès de la FNCF (Fédération Nationale des Cinémas Français) au Futuroscope de Poitiers et les projections de Chritie et Barco au Satis 2000, ont démontré les potentialités du système. La projection comparative 35 mm / numérique organisée par la CST au congrès annuel de la FNCF en fin 2000 a permis de montrer les possibilités et les limites de la technologie numérique dans le cadre d'une exploitation normale. *Fantasia* et *En pleine tempête* ont été diffusés dans un format compressé à partir d'un serveur QuBit Cinema Recorder, de la marque QuVis, et *Voyage* a été diffusé en format natif avec un magnétoscope D6 VooDoo de Philips. Les copies 35 mm étaient neuves et celle de *Voyage* avait été tirée directement du négatif original. Le premier constat est que la projection numérique paraissait légèrement plus piquée que la projection film. Dans le cadre de cette projection s'inscrivait le projet de plate-forme d'essai PRIAMM (programme d'aide à la recherche et au développement), réunissant la CST et France Telecom, ayant pour but de développer une chaîne complète de distribution numérique des films par satellite. France Telecom s'occupe de la compression, de la transmission et du cryptage alors que la CST apporte son expertise dans le domaine de la projection sur grand écran. Suivant les directives du projet concernant la projection, un film doit être enregistré à 24 images/s en progressif dans une résolution de 1920 pixels x 1080 lignes sur un magnétoscope HD non compressé de format D6 (Voodoo de Philips). Lors de la lecture sur la plate forme technique du CETEC de TDF, le flux série en HD-SDI subit une réduction de débit d'environ 1,5 Gbits/s à 50 Mbits/s à travers un codeur HD Mpeg Barco. Il passe ensuite par un embrouilleur multiplexeur Thomson, interfacé avec un contrôleur de titres d'accès Viaccess, puis est stocké au format DVB, comme un fichier de serveur Cinestore d'EVS. Une copie du fichier est effectuée via une interface Ethernet mais, dans l'avenir, ce fichier sera transmis directement par une liaison numérique en fibre optique vers le centre d'émission Globecast. Le serveur d'émission MCast découpe ce fichier en fichiers de 2 Mb empaquetés selon un protocole IP puis stockés. Un long métrage de durée moyenne représente 45 à 50 Go. La

veille de la projection, France Telecom a donc procédé à la première transmission par satellite sur Poitiers d'un extrait de *Voyage.* Les fichiers passaient par une passerelle (gateway) IP/DVB, afin d'utiliser un transpondeur de télévision numérique, dont le débit maximum était d'environ 25 Mb/s. Le signal était reçu sur la carte de réception d'un PC par l'intermédiaire d'une parabole de 80 cm de diamètre pointée sur le satellite Telecom 2A. Dans les cas de non-réception ou de réception erronée, s'élevant à 5°/oo, le PC demandait, via une ligne téléphonique, une nouvelle diffusion des paquets. Le PC a ensuite reconstitué le fichier d'origine de 3 Go puis l'a transféré dans un serveur EVS, semblable au serveur de distribution, qui l'a rejoué en passant par un désembrouilleur Barco et un décodeur HD Mpeg Tandberg-NDS alimentant le projecteur numérique D Cinestar de Barco. Un groupe de travail de la SMPTE, le DC28, a émis en septembre 2000 un projet de recommandation technique qui propose comme spécifications, pour un projecteur portant le label « cinéma numérique », une résolution minimale de 2000 pixels par ligne, ce qui exclu tous les projecteurs actuels à matrices 800 x 600, 1024 x 768 et 1280 x 1024, mais pas 1920 x 1080.

TI DLP Cinema [38]



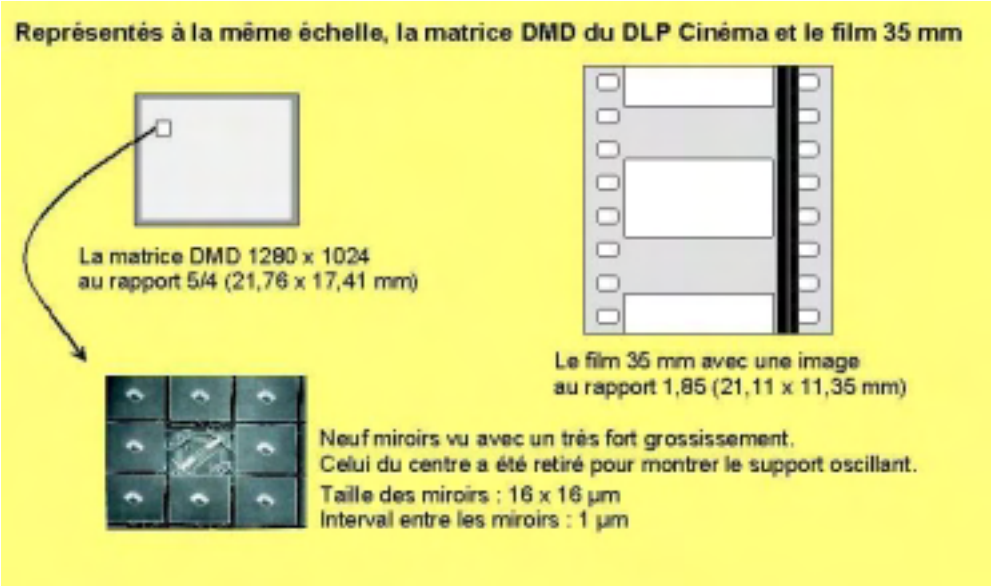
La projection numérique est un enjeu économique important pour les constructeurs de matériels numériques. D'autre part, elle permet aux distributeurs de réduire les frais de copies, tirages, livraison, manutention et vérification. Les exploitants peuvent jouer de manière plus souple sur le nombre d'écrans, sur les permutations de salles et les changements de versions (V.F. et V.O.). Mais l'évolution technologique actuelle influe sur la situation économique. Les équipements sont des prototypes ou des très petites séries et les coûts ne sont pas encore compatibles avec une exploitation commerciale. Le seul modèle qui aujourd'hui s'approche de l'appellation « cinéma numérique » est celui développé par Texas Instrument de technologie DLP Cinema. Ce projecteur, dont il

[38] D'après un document Gaumont.

n'existe que 49 prototypes dans le monde, est en fait une tête numérique qui s'adapte sur une lanterne Christie, constructeur américain d'équipements de cabines et de projecteurs film. Lors de la conférence tenue au Satis 2000, Le cinéma numérique vu par ses utilisateurs. De Pitof à Wim Wenders, Jean-Yves Rabet, directeur du développement et des nouvelles technologies du Gaumont Aquaboulevard, a expliqué le principe de la projection numérique et souligné l'importance de l'adaptation des cabines et des écrans de projection. Le projecteur de l'Aquaboulevard est équipé de la tête de projection numérique Texas Instruments TI DLP Cinema, comprenant 3 matrices DMD (Digital Micromirror Device) de 1310720 micro-miroirs chacune à la résolution de 1280 x 1024 pixels codant les couleurs sur 42 bits (3 x 14 bits), et d'un objectif anamorphique d'un rapport d'anamorphose de 1,5 pour le format 1,85. Il existe également un objectif d'un rapport d'anamorphose de 1,9 pour le format 2,35. Par rapport au DLP standard à matrice unique, traitant le signal sur un maximum de 12 bits, le DLP Cinema traite le signal sur 14 bits et comporte, à l'arrière des 3 matrices, une couche noire mate qui limite les réflexions de la lumière. L'avantage de ce système est que la tête numérique est montée sur une console Christie standard munie d'une lampe à xénon d'une puissance de 7 kW. Un serveur QuBit, contenant une rampe de disques durs d'une capacité totale de plus de 50 Go ainsi qu'une chaîne son numérique standard de six voies non compressées accompagnent le système. Les matrices sont des semi-conducteurs recouverts de miroirs oscillant très rapidement sous l'action d'une tension électrique. Chaque miroir correspond à un pixel par composante RVB de l'image. Le système fonctionne suivant le principe du tout ou rien : le pixel est soit allumé pour renvoyer la lumière sur l'écran, soit éteint dans le cas contraire. La lumière est modulée par le temps d'allumage de chaque pixel, qui détermine le niveau de luminance correspondant dans les valeurs de gris. « *Lors de l'installation, une calibration très précise de la tête est effectuée. Une mesure colorimétrique des composantes et du blanc sur l'écran permet de recalculer la colorimétrie du projecteur pour compenser les variations dues aux optiques, hublot de projection, lampe, miroirs de lanterne, etc.* »[39]. Actuellement, Christie sort sa deuxième génération de DLP Cinema : la console Digipro II. D'autre part, la tête numérique TI DLP a été développée dans une version commerciale par la société Barco, pour s'adapter sur une lanterne Kinoton. C'est ce projecteur que l'on appelle le D Cinestar. Barco a également signé un accord avec Cinemeccanica et Strong pour s'assurer une compatibilité avec les principaux constructeurs de projecteurs 35 mm. Mais le monopole détenu par Texas Instrument ne va évidemment pas durer car JVC annonce déjà une technologie concurrente, la D-ILA, utilisant des matrices à LCD réflectives de 2048 x 1536 pixels. La société Duboi possède également un projecteur équipé d'une tête de projection numérique DLP en version standard, optimisé et étalonné pour ses conditions d'utilisation dans une salle de projection équipée d'un écran de 6 m de base. Plus compétitifs et moins encombrants, le Roadster S6 de Chritie et les PT-D9500 et PT-D9600 de Panasonic affichent eux aussi la résolution 1280 x 1024. Ainsi, la projection numérique n'en est qu'à ses débuts et la comparaison avec la projection film n'est pas évidente. Elle dépend de la configuration du projecteur numérique, c'est-à-dire de ses réglages, des caractéristiques de l'écran de projection, qui diffèrent entre le film et le numérique notamment au niveau de la courbure et de la réflectance, et des caractéristiques du projecteur film.

[39] SINTAS Matthieu, *Le cinéma numérique au congrès de la FNCF Poitiers 2000*, Dossier Technique de la CST N°28, novembre 2000.

Matrice DMD 1280x1024 [40]


Représentés à la même échelle, la matrice DMD du DLP Cinéma et le film 35 mm
La matrice DMD 1280 x 1024
au rapport 5/4 (21,76 x 17,41 mm)
Le film 35 mm avec une image
au rapport 1,85 (21,11 x 11,35 mm)
Neuf miroirs vu avec un très fort grossissement.
Celui du centre a été retiré pour montrer le support oscillant.
Taille des miroirs : 16 x 16 µm
Interval entre les miroirs : 1 µm

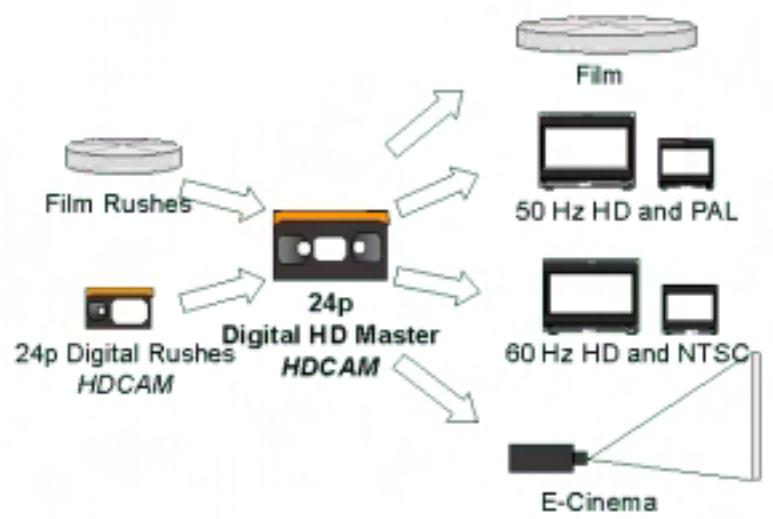
Cependant, on peut relever quelques atouts essentiels de la projection numérique. En dehors de la grande qualité de l'image projetée, la projection présente l'avantage d'être constante au fil du temps. Les problèmes de rayures ou de cassures du film et l'instabilité des couleurs n'existent plus en projection numérique. La luminosité est uniforme et la stabilité de l'image est évidemment parfaite. En ce qui concerne la fiabilité et la souplesse d'exploitation, la projection numérique du Gaumont Aquaboulevard n'a connu qu'un seul incident issu du serveur au cours de dix premières semaines de projection. De plus, Jean-Yves Rabet a mis l'accent sur les points importants que sont : « *une optimisation de l'exploitation des salles, une plus grande diversité de films proposés au public, un besoin impératif de standards mondiaux pour la projection numérique, une nécessaire baisse des prix des équipements, l'implication conjointe des distributeurs, des exploitants et des régies publicitaires pour le financement des équipements, la ré-invention des métiers du cinéma : la production, la distribution, l'exploitation* »[41]. Ce dernier point, que j'ai traité plus haut pour les métiers de la prise de vues, concerne particulièrement le secteur de l'exploitation et de la distribution cinématographique. L'informatisation et l'automatisation croissantes des systèmes de projection vont amener la fonction et le rôle du projectionniste à évoluer : il ne s'agira plus de tirer un certain nombre de copies pour un film ou de charger un projecteur, mais de gérer et de protéger sa transmission par satellite ou par voie hertzienne vers les serveurs des salles de projection. Par ailleurs, la MPA (Motion Picture Association) aux USA, qui regroupe l'ensemble des majors américaines, déclare que l'exploitation numérique des films est la plus grande opportunité d'améliorer le spectacle cinématographique depuis l'arrivée du son et de la couleur. Ses membres ont défini 10 buts à atteindre en vue d'une standardisation : « *Augmenter de manière significative les possibilités du spectacle cinématographique. La qualité doit dépasser celle d'une copie de présentation. Le système doit permettre une compatibilité mondiale pour que le contenu ne soit pas limité dans ses possibilités de diffusion comme c'est aujourd'hui le cas avec le film. Les composants de la chaîne doivent être standards pour permettre la concurrence entre les industriels. Les interfaces doivent être standardisées pour que les équipements de*

[40] SINTAS Matthieu, *Le cinéma numérique au congrès de la FNCF Poitiers 2000*, Dossier Technique de la CST N°28, novembre 2000.
[41] RABET Jean-Yves, conférence du Satis e-cast 2000 : *Journée Cinéma numérique. « Le cinéma numérique vu par ses utilisateurs. De Pitof à Wim Wenders ».*

différents fournisseurs soient interconnectables. Le matériel doit être upgradable en prévision des évolutions technologiques. Le système devra permettre des transmissions sécurisées par voies électroniques (satellite par ex.) et sur des supports physiques (DVD ROM par ex.). La sécurité devra être assurée par un accès conditionnel, une gestion électronique des droits et du philigranage (watermarking). Les équipements de lecture devront utiliser une authentification en ligne pour que le contenu ne soit jamais disponible en clair. Les coûts d'achat et d'utilisation des équipements devront être raisonnables. »[42].

D'autre part, le DVD, ou Digital Versatile Disc, est un média de distribution répondant aux exigences de qualité de l'industrie du film, qui peut préserver le format 16/9 de la HD, mais évidemment pas sa définition. Apparu en 1997, il gère un signal vidéo de haute résolution conforme au standard broadcast CCIR-601 de 704 x 576 pixels en Pal et de 704 x 480 pixels en NTSC, pour une résolution d'image de 720 x 576 pixels en Pal et de 720 x 480 pixels en NTSC. Son débit maximum est de 9,8 Mbits/s pour une durée de 133 minutes de film sur une même face d'un disque haute densité et plusieurs formats d'image aux rapports écran large 16/9 et 4/3 avec possibilité de « pan-scan » ou « letter box ». Le DVD existe en plusieurs variantes suivant le nombre de couches et le nombre de faces utilisées. On peut mettre l'équivalent de 7 à 26 CD sur un DVD, suivant la capacité choisie. Le DVD 5 est un disque ne contenant qu'une seule couche de données sur une seule face d'une capacité de 4,7 Go, le DVD 9 est un disque contenant deux couches de données sur une seule face d'une capacité de 8,5 Go, le DVD 10 est un disque contenant une seule couche de données sur deux faces d'une capacité de 9,4 Go, le DVD 18 est un disque contenant deux couches de données sur deux faces d'une capacité de 17 Go. Le DVD peut donc contenir actuellement jusqu'à 8 heures de vidéo de qualité supérieure au laser disc.

Diffusion à partir d'un master 24p [43]



De cette analyse générale se dégage le fait que la vidéo numérique, en particulier la haute définition, engendre une nouvelle approche technique de l'image. Mais cessons là cet « état des lieux » du cinéma qui, somme toute, ne sera jamais qu'anecdotique, et découvrons plutôt les secrets de la technologie vidéo numérique haute définition.

[42] SINTAS Matthieu, *Le cinéma numérique au congrès de la FNCF Poitiers 2000,* Dossier Technique de la CST N°28, novembre 2000.
[43] D'après un schéma Sony.